

**EUR 599.d**

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

LIBRARY COPY

**ZUR KENNTNIS DER PHYSIKALISCHEN  
STOFFEIGENSCHAFTEN VON FLÜSSIGMETALLEN  
ZWISCHEN SCHMELZ- UND SIEDEPUNKT**

von

**K. - H. SPILLER**

1964



**Gemeinsame Kernforschungsstelle  
Forschungsanstalt Ispra - Italien**

**Wärmeübertragungs-Dienst**

## HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und alle in deren Namen handelnden Personen :

- 1° — keine Gewähr dafür übernehmen, dass die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind oder dass die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstösst ;
- 2° — keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird zum Preise von 85,— bfrs. verkauft. Bestellungen sind zu richten an: PRESSES ACADEMIQUES EUROPEENNES — 98, chaussée de Charleroi, Brüssel 6.

Die Zahlung ist zu leisten durch Überweisung an

— die BANQUE DE LA SOCIETE GENERALE (Agence Ma Campagne) — Brüssel — Konto Nr. 964.558 ;

— die BELGIAN AMERICAN BANK and TRUST COMPANY — New York — Konto Nr. 121.86 ;

— die LLOYDS BANK (Foreign) Ltd. — 10 Moorgate, London E.C.2,

als Bezug ist anzugeben : « EUR 599.d — ZUR KENN-  
NIS DER PHYSIKALISCHEN STOFFEIGENSCHAF-  
TEN VON FLÜSSIGMETALLEN ZWISCHEN  
SCHMELZ- UND SIEDEPUNKT ».

Das vorliegende Dokument wurde an Hand des besten Abdruckes vervielfältigt, der zur Verfügung stand.

**EUR 599.d**

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

ZUR KENNTNIS DER PHYSIKALISCHEN  
STOFFEIGENSCHAFTEN VON FLÜSSIGMETALLEN  
ZWISCHEN SCHMELZ- UND SIEDEPUNKT

von

K. - H. SPILLER

1964



Gemeinsame Kernforschungsstelle  
Forschungsanstalt Ispra - Italien

Wärmeübertragungs-Dienst



## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung .....	5
2. Physikalische Stoffeigenschaften einiger wichtiger Flüssigmetalle.....	6
2.1. Na .....	6
2.2. K .....	9
2.3. NaK-Legierungen .....	11
2.4. Pb-Bi-Eutektikum .....	13
2.5. Sn .....	15
3. Anhang	
3.1. Literaturverzeichnis .....	17
3.2. Tabellen und Figuren .....	27
3.3. Zeichen-Erklärung .....	60



## 1. EINLEITUNG

Für alle Arten der Wärmeübertragung an Flüssigkeiten sind die physikalischen Stoffeigenschaften von entscheidender Bedeutung. Insbesondere Dichte, spezifische Wärme, Wärmeleitfähigkeit, Viskosität und Oberflächenspannung haben einen wesentlichen Einfluß auf die Verwendung von Kühlmitteln, jedoch auch Schmelzpunkt, Siedepunkt und Dampfdruck interessieren stark.

In Tabelle 1 sind für die Metalle mit einem Schmelzpunkt unter  $420^{\circ}\text{C}$  die wesentlichen Stoffeigenschaften bei ca  $500^{\circ}\text{C}$  ohne Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit zusammengefaßt, von denen im vorliegenden Bericht Na, K, NaK, Pb-Bi-Eutektikum und Sn eingehender behandelt werden.

Von den letztgenannten 5 Stoffen bringt Tabelle 2 die Schmelz- und Siedepunkte wie sie die verschiedenen Quellen angeben. Die vermutlichen Bestwerte sind herausgestellt.

In den Figuren 1 - 29 sind die aus der Literatur (s. Teil 3.1) entnehmbaren Stoffwerte graphisch dargestellt. Im Teil 2 dieser Arbeit werden diese Daten diskutiert und gewertet, woraus sich die vom Verfasser als Bestwerte betrachteten Daten der Stoffeigenschaften ergeben. Diese Bestwerte sind in den Fig. 1 - 29 durch einen Kurvenzug hervorgehoben.

## 2. PHYSIKALISCHE STOFFEIGENSCHAFTEN EINIGER WICHTIGER FLÜSSIGMETALLE.

### 2.1. Natrium - Na

#### 2.1.1. Dichte $\rho$ .

Die in Fig. 1 eingetragenen Werte der zugrundeliegenden 6 Quellen zeigen selbst bis 700° C kaum Streuung. Allerdings haben die Quellen 2 und 14 ihre Werte aus den gleichen Arbeiten 3 - 7 entnommen. Quelle 9 hat aber für die Dichte größtenteils auf unabhängige russische Messungen zurückgegriffen. Diese Werte liegen am tiefsten. Die Quelle 28 hat die Dichtewerte aus einer älteren Ausgabe der Quelle 2, und Quelle 8 bezieht sich auf eine noch ältere Arbeit; diesen beiden kommt daher weniger Gewicht zu. Quelle 1 gibt nur einen einzigen Wert, kurz nach dem Schmelzpunkt des Na gemessen.

Man muß also die Werte der Quelle 2 bzw. 14 als die zuverlässigsten ansehen. Die ausgezogene Kurve in Fig. 1 wird zur Entnahme von Dichtewerten von Na empfohlen.

#### 2.1.2. Spezifische Wärme $c_p$ .

Die Werte der uns bekannten 6 Quellen sind in Fig. 2 eingezeichnet. Die Quellen 2, 8 und 14 gehen im wesentlichen auf denselben Ursprung zurück, nämlich das Nat. Bureau of Standards in Washington. Quelle 1 und 22 geben nur einen Wert bei geringer Temperatur, der zudem stark abweicht. Quelle 9 bezieht sich auf russische Messungen und zeigt einen im Prinzip ähnlichen Verlauf wie die amerikanischen Messungen, aber doch mit Abweichungen bis zu  $\pm 1,5\%$ .

Die Arbeiten des Nat. Bureau of Standards auf dem Gebiet der spezifischen Wärme sind derartig zuverlässig und anerkannt, daß man zweifellos diesen Werten den Vorzug geben kann. Dementsprechend wird empfohlen für die spezifische Wärme von Na die ausgezogene Kurve der Fig. 2 zu verwenden. Zwischen 400 und 850° C ist die spezifische Wärme des Na auf  $\pm 1\%$  konstant.



### 2.1.3. Wärmeleitfähigkeit $\lambda$

In Fig. 3 sind die Werte für die Wärmeleitfähigkeit von Na eingezeichnet. Quelle 8 entspricht einer älteren Ausgabe von 2. Quelle 9 gibt russische Messungen wieder und weicht bis -4,2 % vom Gros der anderen Messungen ab. Noch wesentlich größer ist die Abweichung der Quelle 29 bei mittlerer Temperatur; die Werte dürften aus dem Oak Ridge National Laboratory stammen.

Die wesentlichste Originalarbeit zur Quelle 2 ist bei der Wärmeleitfähigkeit die Quelle 25, eine sorgfältige Arbeit aus dem Naval Research Laboratory, sodaß die von Quelle 2 angegebenen Werte das größte Vertrauen genießen können; die ausgezogene Kurve der Fig. 3 richtet sich im wesentlichen danach. Die Quelle 25 gibt für die bis gut 500° C reichenden Messungen (darüber hinaus wurde von ihr extrapoliert) eine Reproduzierbarkeit auf besser als 0,4 % und einen berechneten wahrscheinlichen Fehler von 1 % an (was auch für gute Wärmeleitfähigkeitsmessungen unwahrscheinlich niedrig ist).

### 2.1.4. Viskosität $\mu$

Beim Betrachten der Fig. 4 fällt sofort auf, daß die Werte der Quelle 10 und 42 völlig herausfallen. Es handelt sich dabei um alte, zuverlässige Tabellenwerke; aber auf dem Spezialgebiet der Flüssigmetalle sind diese im Augenblick nicht immer auf dem Laufenden. Bei den in ihnen noch enthaltenden älteren Messungen (in Quelle 42 z. B. aus dem Jahre 1935) wurden sicherlich die besonderen Anforderungen an die Reinheit des Natriums nicht hinreichend beachtet. Man muß die Referenzen 10 und 42 ausscheiden. Die anderen Quellen stimmen ganz gut überein; die Streuung nimmt mit steigender Temperatur langsam zu und erreicht bei 700° C  $\pm 3,4$  %, bei 900° C  $\pm 5,7$  %. Es ist schwer zu entscheiden, ob man bei den hohen Temperaturden Werten der Quelle 2 oder 14 den Vorzug geben muß. 2 bezieht sich auf gute Originalarbeiten, die aber zu den höchsten hier betrachteten Temperaturen extrapoliert werden mußten. Quelle 14 ist besonders sorgfältig bei solchem Abwägen der Werte, daher sei ihr hier der Vorzug gegeben. Die ausgezogene Kurve in Fig. 4 soll die Bestwerte für die Viskosität von Na darstellen.

### 2.1.5. Oberflächenspannung $\sigma$

In Fig. 5 bemerkt man sofort die große Streuung der einzelnen Quellen für die Oberflächenspannung von Na. Quelle 42 geht auf

eine alte Arbeit aus dem Jahre 1935 zurück, bei der offensichtlich die hohen Anforderungen an die Reinheit des zu messenden Stoffes noch nicht eingehalten wurden. Ähnlich muß es bei Quelle 22 sein. Berücksichtigt man diese beiden Arbeiten nicht, so bleibt immer noch eine Streuung der  $\sigma$ -Werte bis zu  $\pm 11\%$  übrig. Nun ändert sich die Oberflächenspannung etwas mit dem Medium gegen das man mißt und gerade die 3 Quellen 2, 8 und 14 geben dieses Medium nicht ausdrücklich an. Da die Quellen 1 und 10, deren Ergebnisse dicht bei denen von Quelle 8 liegen, gegen Vakuum - also den eigenen Dampf - gemessen haben, liegt es nahe, daß auch 8 so gearbeitet hat. Von Quelle 2 weiß man, daß die Blasendruckmethode zugrunde liegt, also sicherlich nicht gegen Vakuum gemessen wurde. Da diese Methode für Messungen bei hohen Temperaturen am besten geeignet ist, könnte man die Werte der Quellen 2 bzw. 14 für die richtigsten halten. Allerdings ist für die praktische Anwendung beim Sieden die Oberflächenspannung gegen den eigenen Dampf erforderlich; die Werte der Quelle 8 liegen aber etwas reichlich viel über denen der Blasendruckmethode. So kommt man dazu, die in Fig. 5 eingezeichnete mittlere Kurve als die wahrscheinlich besten Werte anzunehmen.

#### 2.1.6. Dampfdruck p.

Wie Fig. 6 zeigt, ist beim Dampfdruck von Na die Streuung der verschiedenen Quellen besonders gering; lediglich bei hohen Temperaturen über  $800^{\circ}\text{C}$  liegen die Quellen 1 und 10 schon einmal ein wenig abweichend. Wegen der besonderen Sorgfalt der Quelle 14 wurde ihr der Vorzug gegeben. Somit soll die ausgezogene Kurve der Fig. 6 für den Dampfdruck von Na maßgebend sein.

#### 2.1.7. Spezifischer elektrischer Widerstand $\rho_e$ .

In Fig. 29 sind für Na Werte von den Quellen 2, 14, 95 und 96 eingetragen. Die Abweichung untereinander ist gering und damit die eingezeichnete Kurve für den Verlauf des spezifischen elektrischen Widerstandes von Na mit der Temperatur eindeutig.

## 2.2. Kalium - K

### 2.2.1. Dichte $\rho$

Die Dichte von K kennen wir aus je einer zusammenfassenden amerikanischen (2) und russischen Quelle (9). Die Abweichung der beiden von einander ist gering, wie man Fig. 7 entnimmt. Da man die zugrunde liegenden Originalarbeiten der Quelle 2 kennt, was bei Quelle 9 nicht der Fall ist, wird man den Werten von 2 den Vorzug geben. In Fig. 7 ist dementsprechend die Kurve ausgezogen.

### 2.2.2. Spezifische Wärme $c_p$

Aus Fig. 8 ersieht man, daß die spezifische Wärme von K mit wenig Streuung angegeben wird, insbesondere wenn man von den beiden Einzelpunkten der Quellen 1 und 10 absieht. Die von Quelle 2 angeführten Werte sind durch einen Kurvenzug verbunden, da sie aus dem National Bureau of Standards in Washington stammen, einem Institut, das für Messungen auf dem Gebiet der spezifischen Wärme Weltruf genießt. Bei 520° C zeigt die spezifische Wärme des K ein sehr flaches Minimum, sodaß sie zwischen 200 und 800° C nur um  $\pm 1,8 \%$  um den mittleren Wert 0,776 J/Kg °K schwankt.

### 2.2.3. Wärmeleitfähigkeit $\lambda$

Die Wärmeleitfähigkeitsangaben bei K lassen sich in zwei Gruppen unterscheiden: Die amerikanischen Messungen um Quelle 2 herum und die russischen Messungen der Quelle 9. Unterhalb 400° C liegen die russischen Werte ein wenig höher; oberhalb 400° C aber bis zu 15 % niedriger als die amerikanischen Messungen. Bei 400° C ist die Wärmeleitfähigkeit von K also praktisch genau bekannt; bei Temperaturen, die darunter oder darüber liegen, wird man den Werten der Quelle 2 den Vorzug geben, da man die zugrundeliegenden Originalarbeiten kennt, die untereinander auch nur wenig streuen. So dürfte die ausgezogene Kurve der Fig. 9 die Bestwerte der Wärmeleitfähigkeit von K angeben.

### 2.2.4. Viskosität $\mu$

In Fig. 10 sind die über die Viskosität von K innerhalb des be-

trachteten Temperaturbereiches bekannten Werte zusammengestellt. Mit der bei der Viskosität des Na schon gegebenen Begründung wird man die Quelle 10 ausscheiden. Die übrigen Werte decken sich zum Teil recht gut; bei mittleren Temperaturen liegt allerdings die Quelle 2 bis zu 17 % unterhalb der Quelle 9. Es ist schwer zu entscheiden, welche der beiden die bessere ist. Da die Werte der Quelle 42, soweit sie vorhanden sind, zwischen denen von 2 und 9 liegen, ist es nahelegend, die Bestwerte auf einer mittleren Kurve zu suchen.

#### 2.2.5. Oberflächenspannung $\sigma$ .

Sämtliche Messungen der Oberflächenspannung von K im betrachteten Temperaturbereich sind nur zwischen 62 und 64° C ausgeführt worden, d.h. unmittelbar nach dem Schmelzen. Die 3 Messungen gegen CO<sub>2</sub> übereinstimmen innerhalb  $\pm 0,24$  %, sodaß der Mittelwert, wie ihn Quelle 1 angibt, ohne weiteres akzeptiert werden kann. Siehe Fig. 11.

#### 2.2.6. Dampfdruck $p$ .

Die in Fig. 12 eingetragenen Werte über den Dampfdruck von K streuen bis 600° C fast nicht; darüber hinaus läßt sich gut eine ausgleichende Kurve hineinlegen, die zur Ermittlung der Bestwerte genommen werden kann. Es liegt kein Grund vor, dabei eine der Quellen zu bevorzugen.

#### 2.2.7. Spezifischer elektrischer Widerstand $\rho_e$ .

Über den spezifischen elektrischen Widerstand von flüssigem K machen die Quellen 2, 92, 95 und 96 Angaben (siehe Fig. 29). Der Einzelwert der Quelle 96 liegt etwas abseits. Er ist nur errechnet und braucht wohl nicht sehr ernst genommen zu werden. Die übrigen Punkte streuen wenig, sodaß sich leicht die in Fig. 29 gezeichnete Kurve für K ergibt.

## 2.3. NaK - Legierungen.

### 2.3.1. Dichte $\rho$

Die Dichte von NaK nimmt natürlich mit steigendem K-Gehalt ab; siehe Fig. 13. Die Streuung der verschiedenen Quellen ist vernachlässigbar. Damit sind die in Fig. 13 eingetragenen Geraden eindeutig.

### 2.3.2. Spezifische Wärme $c_p$

Mit steigendem K-Gehalt sinkt, wie Fig. 14 es angibt, die spezifische Wärme von NaK. Die Quellen 2, 14 und 21 beziehen sich auf Messungen des National Bureau of Standards, Washington, sodaß die ausgezogenen Kurven für 44, 56 und 78 % K eindeutig sind. Lediglich die russischen Werte der Quelle 9 für 75 % K passen nur bei ca 700°C in das Bild; bei den niederen Temperaturen erscheinen sie sehr fragwürdig. Man muß den anerkannten Fachleuten des National Bureau of Standards mehr vertrauen.

Zwischen 300 und 800° C ändert sich die spezifische Wärme der NaK-Legierungen nur wenig.

### 2.3.3. Wärmeleitfähigkeit $\lambda$

Auch bei der Wärmeleitfähigkeit von NaK siehe Fig. 15, weichen die russischen Messungen nach Quelle 9 etwas ab - diesmal bei den höheren Temperaturen. Leider weiß man nichts über die zugrundeliegenden Originalarbeiten. Die Quellen 28, 29 und 33 sind ältere Arbeiten. Man wird den Quellen 2 und 14 den Vorzug geben. Damit sind die ausgezogenen Kurven der Fig. 15 festgelegt.

Da man sich in der Nähe eines flach verlaufenden Maximums befindet, ändert sich die Wärmeleitfähigkeit von NaK nur wenig mit der Temperatur im betrachteten Bereich.

### 2.3.4. Viskosität $\mu$

Bei der Viskosität von NaK-Legierungen - Siehe Fig. 16 -

decken sich für 78 % K Gehalt die Werte der Quellen 2 und 14, bei 44 % K übereinstimmen die beiden nur an den Enden des betrachteten Temperaturbereiches; dazwischen weichen sie bis 6,1 % von einander ab. Die Werte der Quelle 2 für 67 % K liegen relativ zu den anderen sinnvoll, während die Werte der Quelle 9 für 75 % K dann zu groß sind, besonders bei den niederen Temperaturen. Die Originalarbeiten, die der Quelle 9 zugrundeliegen, kennt man nicht; die der Quelle 2 und 14 wohl, wobei sich 14 auf eine ältere Quelle bezieht als 2. Somit wird man insgesamt gesehen, den Werten der Quelle 2 den Vorzug geben, siehe die ausgezogenen Kurven der Fig. 16.

#### 2.3.5. Oberflächenspannung $\sigma$

Siehe Fig. 17. Für die Oberflächenspannung von NaK bei 78 % K-Gehalt sind 2 Literaturquellen vorhanden. Quelle 2 nennt die Herkunft seiner Werte, 14 dagegen nicht, sodaß man der Quelle 2 den Vorzug geben möchte. Bei 56 und bei 44 % K-Gehalt des NaK existiert sowieso nur eine Quelle. Entsprechend den Erfahrungen beim Na darf man durch die jeweils nur 2 vorhandenen Punkte wohl eine Gerade ziehen.

#### 2.3.6. Dampfdruck $p$

Der Dampfdruck von NaK, siehe Fig. 18, ist bei 44 % K-Gehalt nur von Quelle 14, bei 56 % K-Gehalt nur von Quelle 2 angegeben worden. Bei 78 % K-Gehalt geben beide Quellen Werte, die aber zwanglos auf der gleichen Kurve liegen. Somit sind die ausgezogenen Linienzüge der Fig. 18 als die Dampfdrücke der angegebenen drei NaK-Legierungen zu betrachten.

#### 2.3.7. Spezifischer elektrischer Widerstand $\varrho_e$

In Fig. 29 sind oben die Werte für den elektrischen Widerstand von NaK-Legierungen graphisch dargestellt.

Quelle 94 gibt Werte für 46 % K, Quelle 14 und 91 für 44 % K. Durch alle diese Werte läßt sich gut eine ausgleichende Kurve (45 % K) legen; die Streuung ist dann nie größer als 3 %. Lediglich ein Einzelpunkt der Quelle 96 liegt völlig abseits.

Für 56 % K-Gehalt der NaK-Legierung gibt nur Quelle 2 Daten.

Siehe die betreffende Kurve in Fig. 29.

Quelle 2, 14 und 96 machen für 78 % K Angaben. Aus den Werten der Quelle 2 wurde die Kurve (78 % K) gezeichnet, auf der auch der Einzelpunkt der Quelle 96 liegt, während die 4 Werte der Quelle 14 (bei Temperaturen bis nur 200° C) eigenartiger Weise fast mit der Kurve für 45 % K zusammenfallen. Werte der Quelle 91 für 80 % K passen überhaupt nicht in das Bild, werden aber von Quelle 2 wegen der Lorentz-Zahl für gut gehalten.

Bei den NaK-Legierungen von 56 bis 80 % gibt es also noch einige Unklarheiten über den spezifischen elektrischen Widerstand, sodaß die Kurven für 56 und 78 % K nur gestrichelt angegeben wurden.

#### 2.4. Pb-Bi-Eutektikum.

##### 2.4.1. Dichte $\rho$

Da nur Werte von Quelle 9 vorliegen, muß die Gerade der Fig. 19 als Darstellung der Bestwerte gelten.

##### 2.4.2. Spezifische Wärme $c_p$

Zur spezifischen Wärme des Pb-Bi-Eutektikums liefern 2 Quellen Werte. Quelle 9 gibt Meßpunkte, deren Größe im ganzen hier betrachteten Temperaturbereich gleich bleibt; siehe Fig. 20. Wo die Messungen ausgeführt wurden, ist nicht angegeben. Quelle 1 sagt, daß die mittlere spezifische Wärme im Bereich 125-800° C die Größe  $0,142 \text{ [ J/kg } ^\circ\text{K} ]$  hat. Über den Verlauf im einzelnen ist nichts ausgesagt; er wird wohl ziemlich gleichbleibend sein und liegt im Mittel also unter dem Wert der Quelle 9. Da sich Quelle 1 auf Messungen des National Bureau of Standards, Washington, bezieht, muß man sie berücksichtigen. Dies kann in unserem Fall nur dadurch geschehen, daß man die Werte der Quelle 9 in Richtung auf den von Quelle 1 angegebenen Mittelwert korrigiert. So wurde die in Fig. 20 eingezeichnete Gerade für den "Bestwert" erhalten.

##### 2.4.3. Wärmeleitfähigkeit $\lambda$

Über die Wärmeleitfähigkeit von Pb-Bi-Eutektikum sind die

Werte von 4 Quellen vorhanden; siehe Fig. 21. Quelle 33 und 29 sind älter; über die russische Quelle 9 weiß man wenig Einzelheiten, während die Quelle 32 großes Vertrauen beanspruchen kann, da die Werte sorgfältig im National Physical Laboratory in Teddington gemessen worden sind.

Somit dürfte die Kurve in Fig. 21 die Bestwerte der Wärmeleitfähigkeit von Pb-Bi-Eutektikum darstellen. Bei mittleren Temperaturen folgt sie der Quelle 32 und geht dann über 500° C zwanglos in die Werte der Quelle 9 über.

#### 2.4.4. Viskosität $\mu$

Bei der Viskosität des Pb-Bi-Eutektikums ist man auf die Werte der Quelle 9 angewiesen. Siehe Fig. 22.

#### 2.4.5. Oberflächenspannung $\sigma$

Die Oberflächenspannung des Pb-Bi-Eutektikums wurde in der Literatur nicht gefunden.

#### 2.4.6. Dampfdruck $p$

Für den Dampfdruck gilt auch das unter 2.4.5. Gesagte.

#### 2.4.7. Spezifischer elektrischer Widerstand $\rho_e$

Uns ist nur ein Einzelwert der Quelle 96 bei 538° C mit  $130 \cdot 10^{-8} \text{ } [\Omega \text{ m}]$  bekannt.



## 2.5. Zinn - Sn

### 2.5.1. Dichte $\rho$

Zur Dichte von Sn im betrachteten Temperaturbereich geben 4 Quellen Werte; siehe Fig. 23. Da kein Grund besteht eine der Quellen zu bevorzugen, wurde die Gerade in der gezeichneten Weise gelegt, denn Quelle 1 und 10 übereinstimmen gut mit 9 und bei höheren Temperaturen auch Quelle 42 mit 9.

### 2.5.2. Spezifische Wärme $c_p$

Zur spezifischen Wärme von Sn geben 5 Quellen Werte. Fig. 24 zeigt folgende kuriose Lage: Quelle 9 und 42 stimmen nahezu überein und fordern für den Verlauf der spezifischen Wärme mit der Temperatur eine horizontale Gerade. Quelle 11 fordert aber eine ziemlich stark mit der Temperatur steigende Gerade und wird darin kräftig unterstützt durch die an den Enden dieser Geraden liegenden Werte der Quellen 1 und 10. Da kein Grund besteht, eine dieser Quellen zu bevorzugen, ist der Wert der spezifischen Wärme von Sn im betrachteten Temperaturbereich nur im Schnittpunkt der genannten beiden Geraden bekannt; Sie beträgt bei  $745 \text{ } ^\circ\text{C}$   $256 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$ . Für davon abweichende Temperaturen läßt sich zur Verwendung bei überschläglichen Berechnungen lediglich der Richtwert  $250 \text{ J/kg } ^\circ\text{K}$  empfehlen.

### 2.5.3. Wärmeleitfähigkeit $\lambda$

Die Übereinstimmung der 3 Quellen über die Wärmeleitfähigkeit von flüssigem Sn ist nur zwischen  $300$  und  $500^\circ \text{C}$  einigermaßen gegeben; siehe Fig. 25. Darüber und darunter weicht die Quelle 9 stark ab. Quelle 33 bezieht sich auf eine japanische und eine amerikanische Originalarbeit, die unter einander gut übereinstimmen. Da auch die Werte der Quelle 10 in der Nähe liegen, sei der Quelle 33 das meiste Vertrauen geschenkt.

### 2.5.4. Viskosität $\mu$

In Fig. 26 sind die Werte der 4 Quellen eingetragen, welche

die Viskosität des Sn angeben. Es besteht kein Grund, eine Quelle zu bevorzugen; auch sind die Abweichungen untereinander gering. So werden die Bestwerte am ehesten durch die mittellnde Kurve der Fig. 26 wiedergegeben.

#### 2.5.5. Oberflächenspannung $\sigma$

Von den 3 Quellen, die Werte zur Oberflächenspannung von Sn liefern, - siehe Fig. 27 - , sind die Messungen für die Quellen 1 und 58 nach der Methode des maximalen Blasendruckes, die für die Quelle 10 nach der Methode des schwingenden Strahles im Vakuum ausgeführt worden. Bei hohen Temperaturen genießt die Blasendruckmethode großes Vertrauen. Die Werte der Quelle 58 wurden im National Physical Laboratory, Teddington gegen  $H_2$  gemessen und sollten vorbildlich sein. Sie wurden in Fig. 27 durch eine Kurve verbunden. (Auffällig ist, daß die unterhalb  $400^\circ C$  ermittelten Meßwerte der Quelle 10 auf einer Geraden liegen würden, die auch durch die Werte der Quelle 58 oberhalb  $800^\circ C$  geht).

#### 2.5.6. Dampfdruck p

Der Dampfdruck von Sn ist nicht sehr genau bekannt. Die in Fig. 28 ausgezogene Kurve folgt den Werten der Quelle 42, der hier der Vorzug gegeben wurde; bei tiefen Temperaturen stimmen sie mit den Angaben der Quelle 10 überein, bei höheren Temperaturen mit denen der Quelle 1.

#### 2.5.7. Spezifischer elektrischer Widerstand $\rho_e$

Die Quellen 42 und 96 geben Werte über den spezifischen elektrischen Widerstand von Sn, wobei der Einzelwert der Quelle 96 bei  $533^\circ C$  gut in die Gerade durch die Werte der Quelle 42 paßt; siehe Fig. 29.

Es sei darauf hingewiesen, daß die Gerade für flüssiges Sn alle anderen Kurven, mit Ausnahme derjenigen für sehr hoch mit K legiertem NaK, schneidet, sodaß sich Temperaturen angeben lassen, bei denen Sn die betrachteten Alkalimetalle und Legierungen, was den elektrischen Widerstand anbetrifft, ersetzen kann.

Im Teil 2 dieses Berichtes wurde kritisch untersucht, welche der in der Literatur vorkommenden Werte die besten sind. Die vom Autor als Bestwerte betrachteten Angaben sind in den Fig. 1 - 29

durch einen Kurvenzug hervorgehoben und so in ihrer Temperaturabhängigkeit graphisch dargestellt.

### 3. ANHANG

#### 3.1. Literaturverzeichnis.

Das Literaturverzeichnis ist eine über den Quellennachweis hinausgehende Literaturzusammenstellung, die nach den physikalischen Eigenschaften geordnet ist.

#### Quellen über die Dichte $\rho$

- 1 Handbook of Chemistry and Physics, 42. Ausg. (1960-61).  
Die Angaben über die Dichte stammen von VINCENTI-  
OMODEI.
- 2 Liquid Metal Handbook, Sodium-NaK Supplement, TID 5277  
(1955). Die Angaben über die Dichte sind aus den Arbeiten 3-7  
entnommen.
- 3 EWING, ATKINSON, RICE, NRL (Naval Research Lab.)  
Rpt. C-3287 (1948).
- 4 HAGEN; Ann. Chem. 19, 436 (1883)
- 5 RINCK; Compt. rend. 189, 39 (1929).
- 6 GRIFFITH + GRIFFITH; Proc. Phys. Soc. (London) 27, 477  
(1915)
- 7 Univ. of Cincinnati; Techn. Rpt. to G. E. ANP Project (1952)  
Siehe auch Quelle 39 und 22.
- 8 Materials manual, Section XI; Sodium; KAPL-A-ME-1 (1954)  
 $\rho$ -Angaben aus: NEWMAN, Rpt. G. J. 401, Gen. Electr. Co.  
(Nov. 1947).  
Siehe auch Quelle 28.  
Die  $\rho$ -Werte stammen aus Liquid Metal Handbook AEC 1952.

- 9 Liquid Metal Heat Transfer Media; KUTATELADZE et al. Supplement Nr. 2 von Atomnaia Energiia (1958) (Transl. from Russian).  
Die Angaben über die Dichte stammen größtenteils aus russischen Messungen, nur für Kalium und Zinn sind auch einige amerikanische, deutsche und französische Arbeiten herangezogen.
- 10 D'ANS, Lax; Taschenbuch für Chemiker und Physiker (1949).
- 11 KOHLRAUSCH; Praktische Physik (1956).
- 12 SHEPPARD und KEMP; WSL-R-33.
- 13 BLOCK; Messen und Wägen, Lpz. 1928.
- 14 Sodium. Its manufacture, properties and uses. SITTIG; Reinhold Publ. Corp. New York. Ethyl-Corp., Detroit.  
Für § sind dieselben Quellen wie für unsere Quelle 2 verarbeitet.
- 15 Physical and Thermodynamic Properties of Sodium; Thomson Garelis, Research Dep., Ethyl-Corp.  $\angle$  Ein Kapitel aus dem Buche (R 14)  $\angle$ .

\*)  
Quellen über die spezifische Wärme  $c_p$ .

- 1 siehe unter "Dichte".  
Über die Herkunft der Werte für die spezifische Wärme ist nichts angegeben; nur bei den Pb-Bi- und NaK-Legierungen das National Bureau of Standards.
- 2 siehe unter "Dichte".  
Die  $c$ -Werte stammen von National Bureau of Standards, s. Quelle 16.

---

\*)

Die maßgebenden Messungen der spezifischen Wärme von Flüssigmetallen sind wohl im National Bureau of Standards, Washington, von GINNINGS, DOUGLAS et al. ausgeführt worden. Einen ähnlichen Anspruch an Genauigkeit erhebt WITTIG vom Chem.-physikal. Inst. der Universität München.

- 16 GINNINGS - DOUGLAS, BALL; J. Research National Bureau of Standards 45, 23 (1950).
- 17 DOUGLAS, BALL, GINNINGS, DAVIS; AEC Report AECU-1017 (1951).
- 18 KELLEY; U.S. Bureau of Mines, Bulletin 476 (1949).
- 19 DOUGLAS et al.; J. Amer. Chem. Soc. 74, 2472 (1952) (Na, K, NaK).
- 20 DOUGLAS et al.; J. Amer. Chem. Soc. 76, 4824 (1954) (Pb, Pb-Bi).
- 21 DOUGLAS; Transactions of the ASME for Jan 1957, S. 23 Gemessen im National Bureau of Standards, Washington
- 22 Physical and Chemical constants; KAYE & LABY (1959)
- 8 siehe unter Dichte  
c-Werte aus: Liquid Metal Handbook, NAVEXOS P 733 (1952)
- 9 siehe unter Dichte  
Die c-Werte stammen von russischen Messungen
- 10 siehe unter Dichte.
- 11 siehe unter Dichte.
- 14 siehe unter Dichte.  
Es sind dieselben Quellen wie für unsere Quelle 2 verarbeitet.
- 23 WITTIG & SCHMATZ; Zeitschr. für Elektrochem. 63, H. 4, 470 (1959). Methode entwickelt im physikal.-chem. Inst. der Universität München.
- 24 WEST & GINNINGS; J. of Research of the NBS, Vol. 60, No.4, (April 1958).  
Im National Bureau of Standards entwickelt, Res. Paper 2848.
- 24 a WEST & GINNINGS; The Review of Scientific Instruments, 28, 12 (Dez.1957).
- 24 b FURUKAWA, DOUGLAS, Mc COSKEY, GINNINGS; J. of Research of the National Bureau of Standards 57, 2 (Aug. 1956) Research Paper 2694).

Quellen über die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$

- 2     siehe unter Dichte.  
Die Werte für  $\lambda$  stammen aus amerikanischen Arbeiten:
- 25    EWING, GRAND, MILLER; J. Am. Chem. Soc. 74, 11 (1952)  
Gemessen im Naval Research Lab.
- 26    HALL; Phys. Rev. 53, 1004 (1938).
- 27    EWING, SEEBOLD, GRAND, MILLER; J. Phys. Chem. 59,  
524 (1955) - Gemessen in N.R.L.
- 22    siehe unter spez. Wärme
- 8     siehe unter Dichte.  
 $\lambda$  -Werte aus: Liquid Metal Handbook, NAVEXOS P 733 (1952).
- 28    PRZYBYCIEN & LINDE; KAPL-M-WMP-1 (1957).  
Die Werte für Natrium stammen aus NAVEXOS P 733 (1952).
- 29    POPPENDIEK; Heat Transfer Symposium, Univ. of Michigan  
(1952). 3. Liquid Metal Heat Transfer.  
Die Werte dürften zum Teil aus dem Oak Ridge National Lab.  
stammen.
- 9     siehe unter Dichte.  
Die  $\lambda$  -Werte stammen aus russischen Messungen.
- 10    siehe unter Dichte.
- 11    siehe unter Dichte.
- 14    siehe unter Dichte.
- 30    Thermodynamic and Transport Properties of Gases, Liquids  
and Solids. ASME, 1959. McGraw-Hill Book Co., New York.  
Enthält die Apparatur von Leidenfrost.
- 31    Liquid Metals Technology, Part I. Chem. Eng. Progr. Sympos.  
Series No. 20 (1957) Vol 53. Am. Inst. of Chem. Eng.
- 32    POWELL & TYE; Joint Confer. of Thermodyn. and Transport  
Propert. of Fluids (1957).  
Gemessen im National Physical Laboratory, Teddington (Engl.)

33 POWELL; J. of Iron and Steel Inst., July 1949, S. 315.  
Sn nach japan. und amerik., NaK nach amerik. Messungen.

34 BROWN; Physical Review (1923), Vol. 22, p. 171  
Gemessen an der Ohio State University.

35

-\*)

Quellen über die Viskosität  $\mu$

2 siehe unter Dichte.  
Die  $\mu$ -Werte rühren von engl. und amerik. Messungen her:

36 CHIONG; Proc. Roy. Soc. (London) A 157, 264 (1936).

37 ANDRADE; Phil. Mag. 17, 698 (1934); Nature 125, 309, 582  
(1930).

7 siehe unter Dichte.

38 EWING, GRAND, MILLER; I. Am. Chem. Soc. 73, 1168 (1951)

39 EWING, GRAND, MILLER; J. Phys. Chem. 58, 1086 (1954).

40 NOWIKOW et al.; Atomenergie 1956, Nr. 4 S. 92.

41 JOHNSON; AERE R/M 232 (Harwell 1959).

42 LANDOLT-BÖRNSTEIN; Zahlenwerte u. Funktionen, 6. Aufl.  
(1950-60).  
 $\mu$ -Werte aus Z. f. anorg. Chem. 223 (1935).

8 siehe unter Dichte.  
 $\mu$ -Werte aus: Liq. Met. Handbook, NAVEXOS P 733 (1952).

9 siehe unter Dichte.  
Die  $\mu$ -Werte entstammen russischen Messungen und einer  
deutschen Quelle (bei Sn).

---

\*)

Die englischen (CHIONG, Gedämpfte Torsionsschwingungen  
einer mit dem zu untersuchenden Stoff gefüllten Kugel) und amerika-  
nischen (EWING et al, Glas- und Nickel-Kapillar-Viskosimeter) Mes-  
sungen gelten als genau.

- 10     siehe unter Dichte.
- 14     siehe unter Dichte.
- 1     siehe unter Dichte.  
nach SAUERWALD und TOPLER 1926
- 43     PETER & SLIWKA; Chem.-Ing.-Techn. 28, Nr. 1, S. 49  
(1956), TH Hannover.
- 43 a   PETER; Chem. Ing. Techn. 32, Nr. 7 (1960)  
Gemessen an der TH Hannover.
- 44     MESKAT; Viskosimetrie, Leverkusen.
- 45     Guide to Industrial Viscometry; Chem. Eng., April 1960.
- 46     HÖPPLER; Z. f. techn. Physik 14, 165 (1933).
- 47     DIN 51561, 51562, 53012, 53015, 53016.
- 48     KOROL'KOV, A.M.; AEC-tr-4202 (D/4771).
- 49
- 50

\*)

Quellen über die Oberflächenspannung  $\sigma$

- 1     siehe unter Dichte.  
Die  $\sigma$ -Werte von Na stammen von Quelle 51, die von K aus  
52, für Sn aus 53.
- 51     POINDEXTER; The Phys. Review 27, 820, 26.
- 52     QUINCKE; Ann. der Physik 135, 621, 68  
Tropfengewicht in CO<sub>2</sub>.

---

\*)

Die besten Messungen sollen die von TAYLOR aus Harwell/  
England sein.





- 61 CUNY & WOLF; Ann. d. Phys. 6, Folge, Bd. 17, H. 2-3,  
S. 57, (1956).  
Blasendruckmethode.

62

\*)

Quellen über den Dampfdruck p

- 1 siehe unter Dichte.
- 2 siehe unter Dichte.  
Die Dampfdruckmessungen stammen von den amerikanischen  
Quellen 63, 64 und 65. Für NaK-Legierungen wurde der Druck  
nach dem Raoultischen Gesetz errechnet.
- 63 MAKANSI, MUENDEL, SELKE; J. Phys. Chem. 59, 40-2  
(1955) (Na)
- 64 MAKANSI, MADSEN, BONILLA, SELKE; J. Phys. Chem. 60,  
No. 1, S. 128 (Jan. 1956) (K).
- 65 KISTIAKOWSKY; NDRC, Div. B. Rpt. Serial 22 (Republished  
as NRL Rpt. P-2958).  
(Na-K-Siedepunkte).
- 10 siehe unter Dichte.
- 14 siehe unter Dichte.
- 42 siehe unter Viskosität.  
Die p-Werte stammen aus amerikanischen und deutschen  
Quellen (1935/36/42).
- 66
- 67
- 68

---

\*)

Die maßgebenden Dampfdruck-Untersuchungen sind wohl in  
Amerika von einem Arbeitsteam um MAKANSI und BONILLA ausge-  
führt worden.

\*)

Quellen über den Oxydgehalt

- 69 CHAMPAIX, JARRAS, DUFLO; CEA No. 835 oder DEG Inf. series 46 (D) (Mit Flammenspektrophotometrie).
- 70 The analysis of sodium metal and sodium-potassium alloy (Collected Capenhurst methods) IGO-AM/CA-110 (1958). Ausgearbeitet in England (UKAEA). Hg-Methode mit Titration.
- 71 PEPKOWITZ & JUDD; Anal. Chem., 22 1283 (1950) Hg-Methode
- 72 PEPKOWITZ; Anal. Chem. 26, 574 (1954).
- 73 WILLIAMS & MILLER; Anal. Chem. 23, 1865 (1951) Verfeinerung der Hg-Methode.
- 74 JAHNS & WEIDEMANN; Nukleonik Bd 1, H. 5, S. 189 SSW, Erlangen - Hg-Methode.
- 75 DE BRUIN, SMYTHE; AAEC/E No. 22 (mit Ultrarot-Absorptions-Spektrum)
- 76 White Ross Rowan; Anal. Chem. 26, 210 (1954) Oak Ridge Nat. Lab. Alkylbromid-Methode
- 77 SOENEN; Soc. Eur. d'Energ. Nucl., Colloque sur les mét. liquides, Aix-en-Provence et Cadarache, (30.9. - 2.10.63). (Übersicht und Abschätzung der bestehenden Methoden).
- 78 DORNES & KUMMERER; Soc. Eur. En. Nucl. Sympos. sur Mét. liquides, Aix-en-Provence et Cadarache (30.9. - 2.10.63) (Vereinfachte Hg-Methode).
- 79
- 80

---

\*)

Die Oxydbestimmung nach der englischen Carpenhurst-(Hg)-Methode dürfte - was die Chemie anbetrifft - gut sein. Die Technik lässt sich wohl verbessern. Evtl. kommt statt Titration die Spektroskopie entsprechend der französischen Arbeit infrage; oder entsprechend Quelle 75.

Quellen allgemeiner Art

Außer den oben bei den einzelnen Eigenschaften angeführten Literaturstellen sind noch folgende Quellen zu nennen:

- 81     Review of experimental investigation of liquid metals;  
LUBARSKY & KAUFMANN; Heat Transfer Report of the  
National Advisory Committee on Aeronautics 1270 (1956).
- 82     Nuclear Engineering Data Sheet, No. 13, Liquid Met. 6.10-6
- 83     Sodium Handling and Properties; du Pont de Nemours & Co.
- 84     Physical Methods of Organic Chemistry; WEISSBERGER;  
Interscience Publishers Inc., New York/London.
- 85     International Critical Tables; McGraw-Hill Book Co., New  
York.
- 86     Neutron cross sections; HUGHES & SCHWARTZ, BNL 325,  
2. Edition (1958).
- 87     Property Measurements at High Temperatures; KINGERY;  
Chapman & Hall, London.
- 88     Physico-chemical Measurements at High Temperatures;  
BOCKRIS, WHITE, MACKENZIE; Butterworth, London.
- 89     Moderne Meßmethoden der Physik; F.X. EDER; Deutscher  
Verlag der Wissensch.

Quellen über den spezif. elektr. Widerstand  $\rho_e$

- 2     siehe unter Dichte.  
Die Messungen des spezif. elektr. Widerstandes stammen von  
den folgenden amerikanischen Quellen 90, 91.
- 90     RAHISER, WERNER & JACKSON; Mine Safety Appliances Co.  
TR-24 (June 1953).
- 91     DRUGAS, REHN & WILKINSON; ANL-5115 (1953).

- 14 siehe unter Dichte.  
Für die  $\rho_e$ -Werte sind die beiden folgenden Quellen verarbeitet und bei NaK die Quelle 2.
- 92 BORNEMANN & RAUSCHENPLAT; Metallurgie 9, 505-15 (1912).
- 93 Northrup; Trans. Am. Electrochem. Soc. 20, 185-204 (1911)
- 42 siehe unter Viskosität.  
Die  $\rho_e$ -Messungen stammen von Bornemann.
- 94 KAPELNER; PWAC-349 (15. Juni 1961).
- 95 KAPELNER & BRATTON; PWAC-376 (Juni 1962).
- 96 LEON GREEN; Table of reactor coolant properties, BNL 661 (T-215), (10 March 1961).

### 3.2. Verzeichnis der Tabellen und Figuren.

Tabelle 1: Übersicht über die physikalischen Eigenschaften der Metalle mit einem Schmelzpunkt unter 420° C.

Tabelle 2: Genaue Schmelz- und Siedepunkte der 5 wichtigsten Metalle oder Legierungen.

Fig. 1 - 6 Die physikalischen Stoffeigenschaften von Na.

Fig. 7 - 12 Die physikalischen Stoffeigenschaften von K.

Fig. 13 - 18 Die physikalischen Stoffeigenschaften von NaK.

Fig. 19 - 22 Die physikalischen Stoffeigenschaften von Pb-Bi-Eutekt.

Fig. 23 - 28 Die physikalischen Stoffeigenschaften von Sn.

Fig. 29 Spezif. elektr. Widerstand von Na, K, NaK, Sn, (Pb-Bi).

Stets in Funktion der Temperatur.

TABELLE 1 : Übersicht über die physikalischen Eigenschaften der Metalle mit  $T_f < 420^\circ \text{C}$ .

Die Werte gelten meist für  $500^\circ \text{C}$ , ausnahmsweise a bei  $538^\circ \text{C}$ , d bei  $400^\circ \text{C}$   
b bei  $316^\circ \text{C}$ , e bei  $50^\circ \text{C}$   
c bei  $156^\circ \text{C}$ , f bei festem Zustand.

Stoff	$T_f$	$T_s$	W-Qu	$\rho$	$c_p$	$\rho \cdot c_p$	$\lambda$	$\mu$	$\sigma$	$\rho$	$\rho_e$
	$^\circ \text{C}$	$^\circ \text{C}$	barn	$\text{kg/m}^3$	$\text{J/kg } ^\circ \text{K}$	$\text{J/m}^3 ^\circ \text{K}$	$\text{W/m}^2 \text{K}$	$\text{kg/ms}$	$\text{N/m}$	mbar	$\Omega \text{ m}$
Li	178,4	1327	71	$\times 10^3$ 0,48 <sup>a</sup>	$\times 10^3$ 4,17	$\times 10^6$ 2,00	49	$\times 10^{-3}$ 0,34 <sup>a</sup>	?	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$\times 10^{-8}$ 35,1
Na	97,8	883	0,50	0,83	1,26	1,05	67	0,24	0,17	5	27
K	63,2	760	2,07	0,72	0,76	0,55	37	0,18	$\sim 0,2$	35	45
Rb	38,7	688	0,73	1,36	0,36	0,49	27	0,17 <sup>a</sup>	$\sim 0,03^a$	120	69,2
Cs	29,7	690	29,0	1,71 <sup>a</sup>	0,24 <sup>e</sup>	0,41 <sup>a</sup>	20	?	?	$\sim 125$	95,6
Zn	419,4	906	1,1	6,86 <sup>a</sup>	0,49 <sup>a</sup>	3,36 <sup>a</sup>	57 <sup>a</sup>	2,78	0,78 <sup>a</sup>	$\sim 1,5$	35,4
Cd	320,9	765	2450	7,93	0,26	2,06	92 <sup>f</sup>	1,86	?	$\sim 15$	34,1
Hg	-38,9	357	380	12,8 <sup>b</sup>	0,14 <sup>b</sup>	1,79 <sup>b</sup>	12 <sup>b</sup>	0,92 <sup>b</sup>	0,40 <sup>b</sup>	462 <sup>b</sup>	126 <sup>b</sup>
Ga	29,8	2064	2,8	5,75 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a</sup>	1,96 <sup>a</sup>	31 <sup>a</sup>	0,76 <sup>a</sup>	?	0	?
In	156,2	>1450	196	7,28 <sup>c</sup>	0,27 <sup>c</sup>	1,96 <sup>c</sup>	?	?	?	$< 10^{-5}$	?
Tl	302,8	1457	3,4	11,13 <sup>d</sup>	0,15 <sup>d</sup>	1,67 <sup>d</sup>	?	?	?	$< 10^{-3}$	?
Sn	231,9	2270	0,63	6,79	0,25	1,69	33	1,19	0,53	0	53,9
Pb	327,0	1750	0,17	10,3 <sup>a</sup>	0,16	1,65	34 <sup>f</sup>	1,85	0,43 <sup>a</sup>	$< 10^{-4}$	103
Bi	271,0	1420	0,03	9,74 <sup>a</sup>	0,15 <sup>a</sup>	1,46 <sup>a</sup>	8 <sup>f</sup>	1,14	0,36 <sup>a</sup>	$< 10^{-4}$	142,8 <sup>a</sup>

TABELLE 2: Genaue Schmelz- und Siedepunkte der 5 wichtigsten Metalle oder Legierungen.

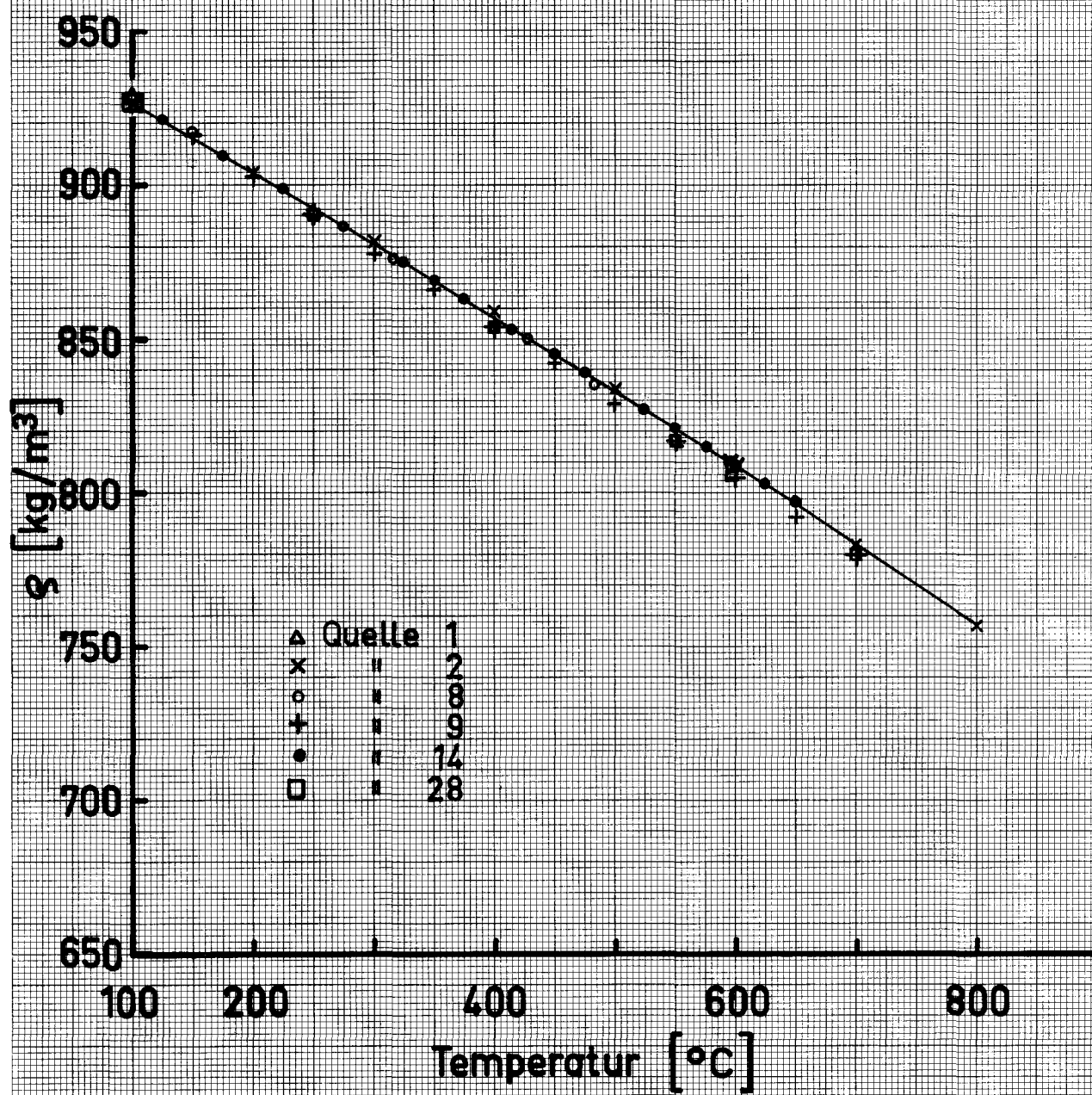
Stoffe	T <sub>f</sub> (°C)	T <sub>s</sub> (°C)	Quelle	Bestwert
Na	97,5	892	1	<u>Na</u> : T <sub>f</sub> = 97,8 °C T <sub>s</sub> = 883 °C
	97,8	881	2	
	97,9	892	8	
	97,3	878	9	
	97,7	883	10	
	98	883	11	
	97,8	882,9	14	
	97,8		16	
	98		21	
	97,8	883	22	
	98	883	29	
	97,6	881,7	42	
	97,8	882,6	96	
K	62,3	774	1	<u>K</u> : T <sub>f</sub> = 63,3 °C T <sub>s</sub> = 760 °C
	63,7	757;753,8	2	
	63,7	760	9	
	63,5	776	10	
	63,4	757	11	
	63		21	
	63,2	760	22	
	64	761	29	
	64;62,5	759,7	42	
	64,2	760	96	
NaK				
44 % K	18,4	826	2	<u>NaK 44</u> : T <sub>f</sub> = 19 °C T <sub>s</sub> = 826 °C
44	19	825	14	
44	19,0	825,8	96	
46	25		21	
53 % K	10		21	
56	5,9	814	2	<u>NaK 56</u> : T <sub>f</sub> = 5,9 °C T <sub>s</sub> = 814 °C

./.

NaK 67 % K	0	800	2	<u>NaK 67:</u> $T_f = 0^{\circ}\text{C}$ $T_s = 800^{\circ}\text{C}$
75 % K	-11	784	9	<u>NaK 78:</u> $T_f = -11^{\circ}\text{C}$ $T_s = 784^{\circ}\text{C}$
77	-10		21	
77	-11, 1	784	29	
(Eut) 77, 2	-12, 3	787	2	
78	-11	784	14	
78	-11, 1	783, 8	96	
Pb-Bi-Eut.				<u>Pb-Bi-Eut.:</u> $T_f = 125^{\circ}\text{C}$ $T_s = 1672^{\circ}\text{C}$
54 % Bi	130		33	
55	125	1675	29	
55, 1	125		1	
55, 2	125		21	
55, 5	123, 5	1670	9	
55, 5	125, 2	1671	96	
56, 5	125, 5		42	
Sn	231, 9	2270	1	<u>Sn:</u> $T_f = 231, 9^{\circ}\text{C}$ $T_s = 2270^{\circ}\text{C}$
	231, 9	2270	9	
	231, 8	2430	10	
	231, 9	2337	11	
	232		21	
	232	2275	29	
	231, 9		33	
	231, 9	2269	42	
	231, 5	2288	96	

% bedeutet Gew.-%.



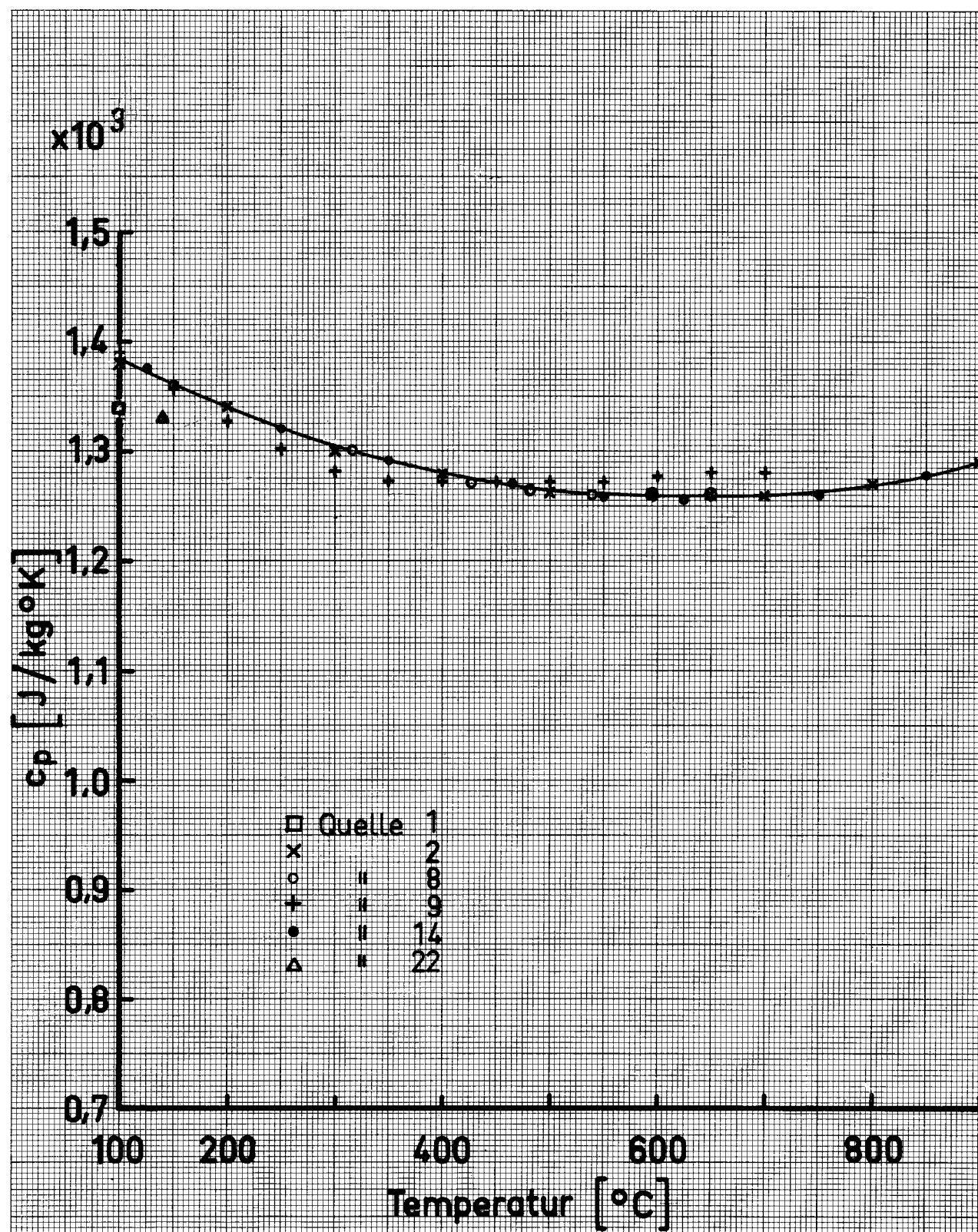


Dichte von Na

Fig.1

hpi

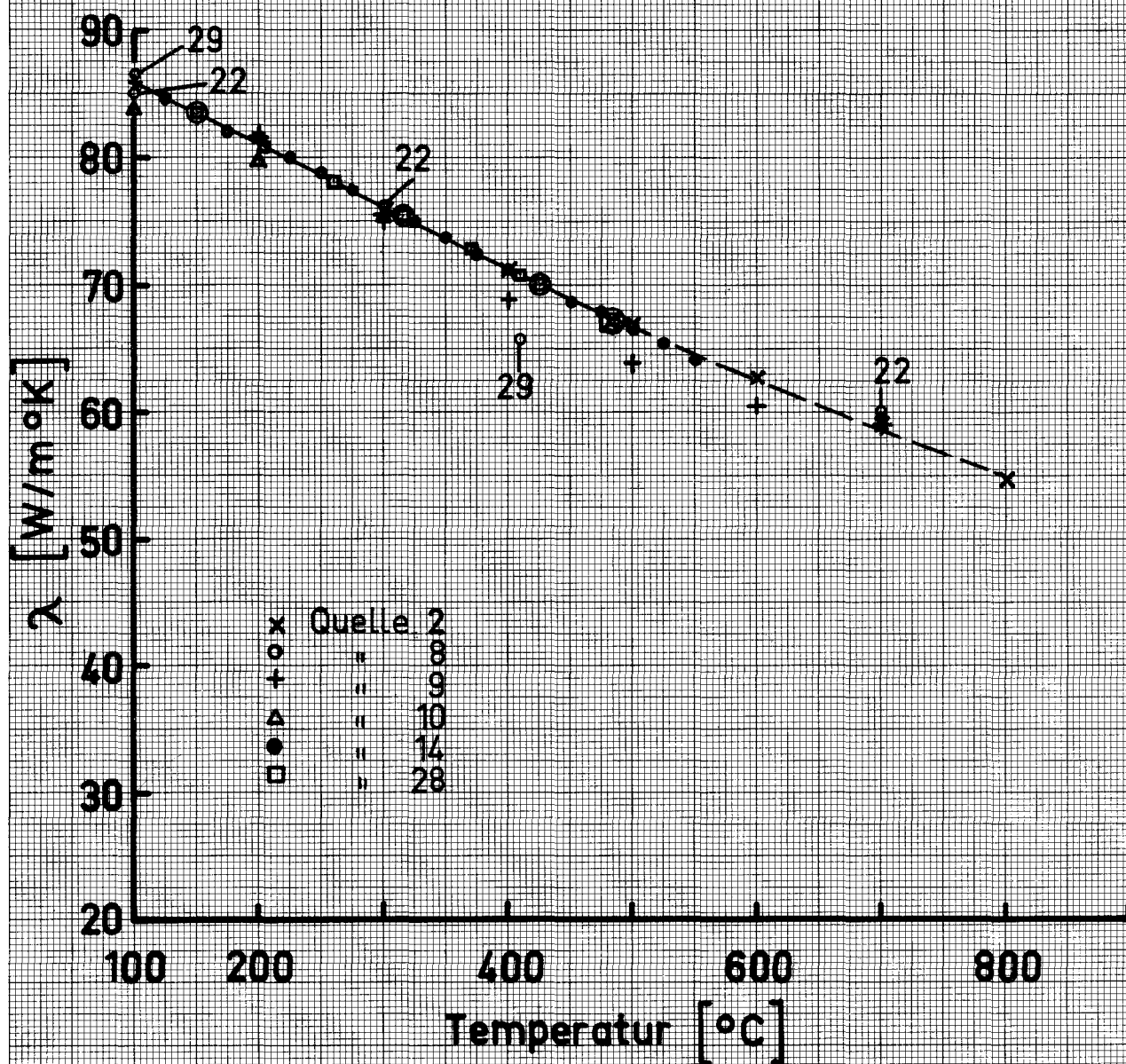
2



Spezifische Wärme von Na

Fig. 2

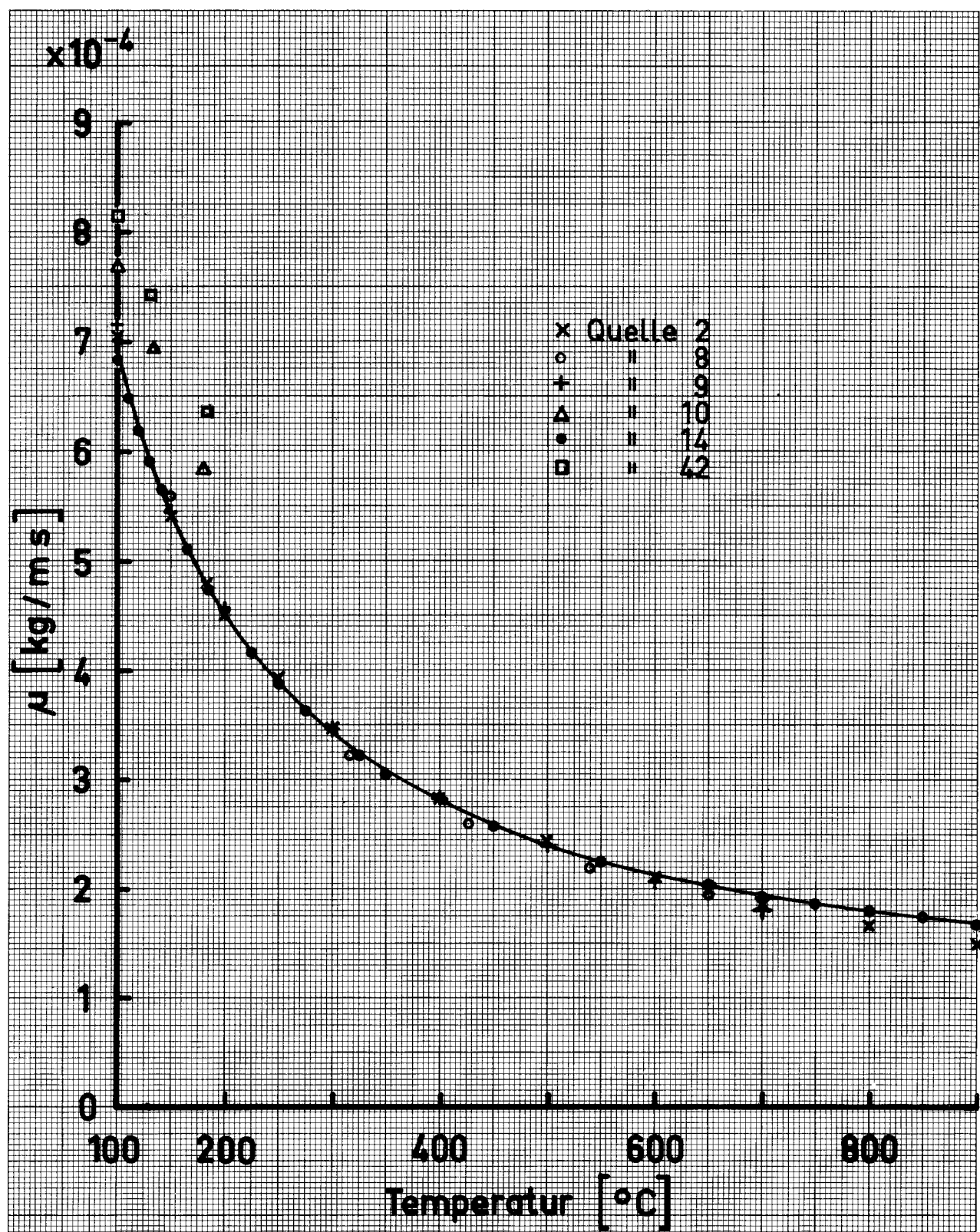
*hju*



Wärmeleitfähigkeit von Na

Fig. 3

*Handwritten signature*

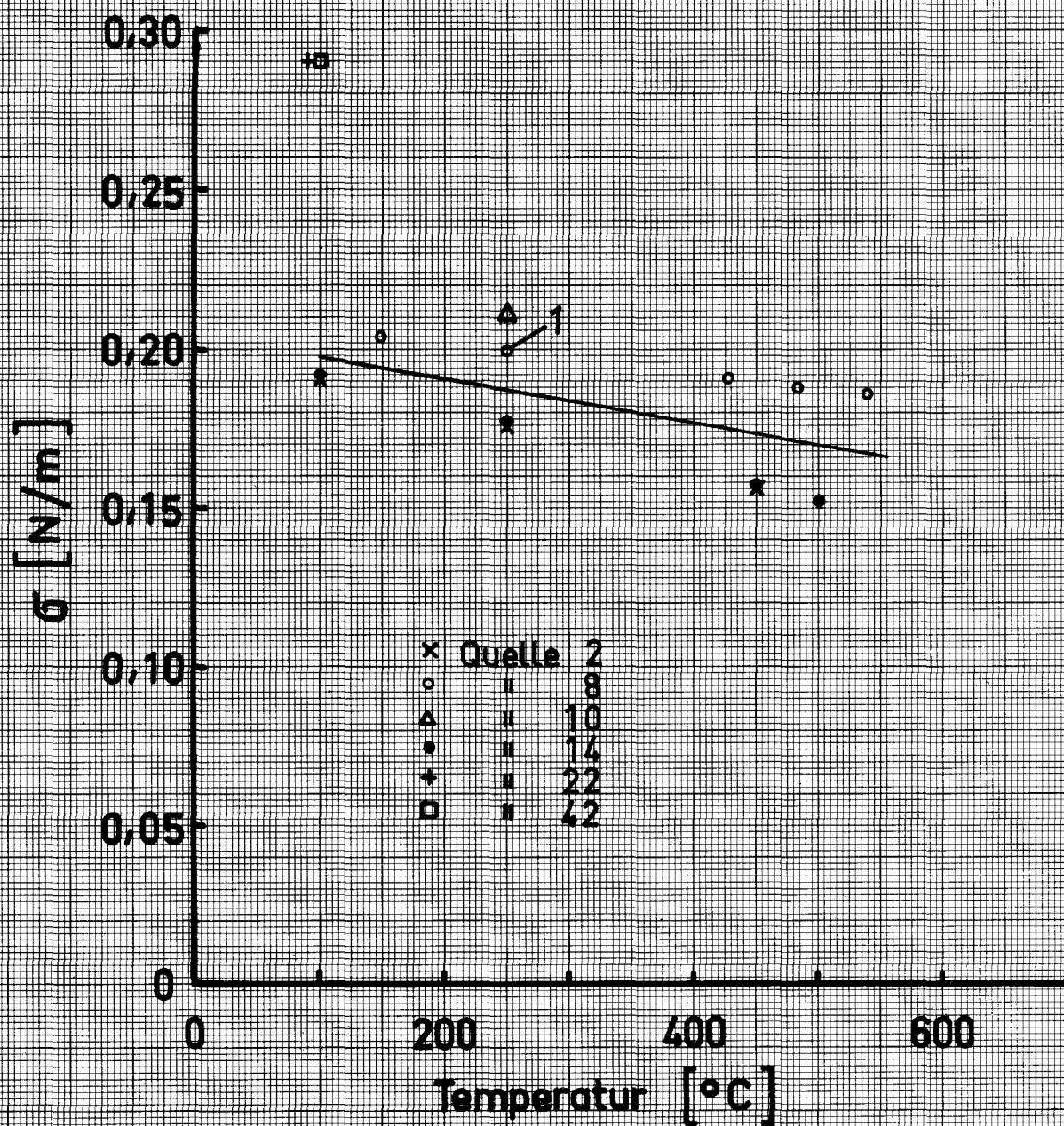


Viskosität von Na

Fig. 4

Fig.

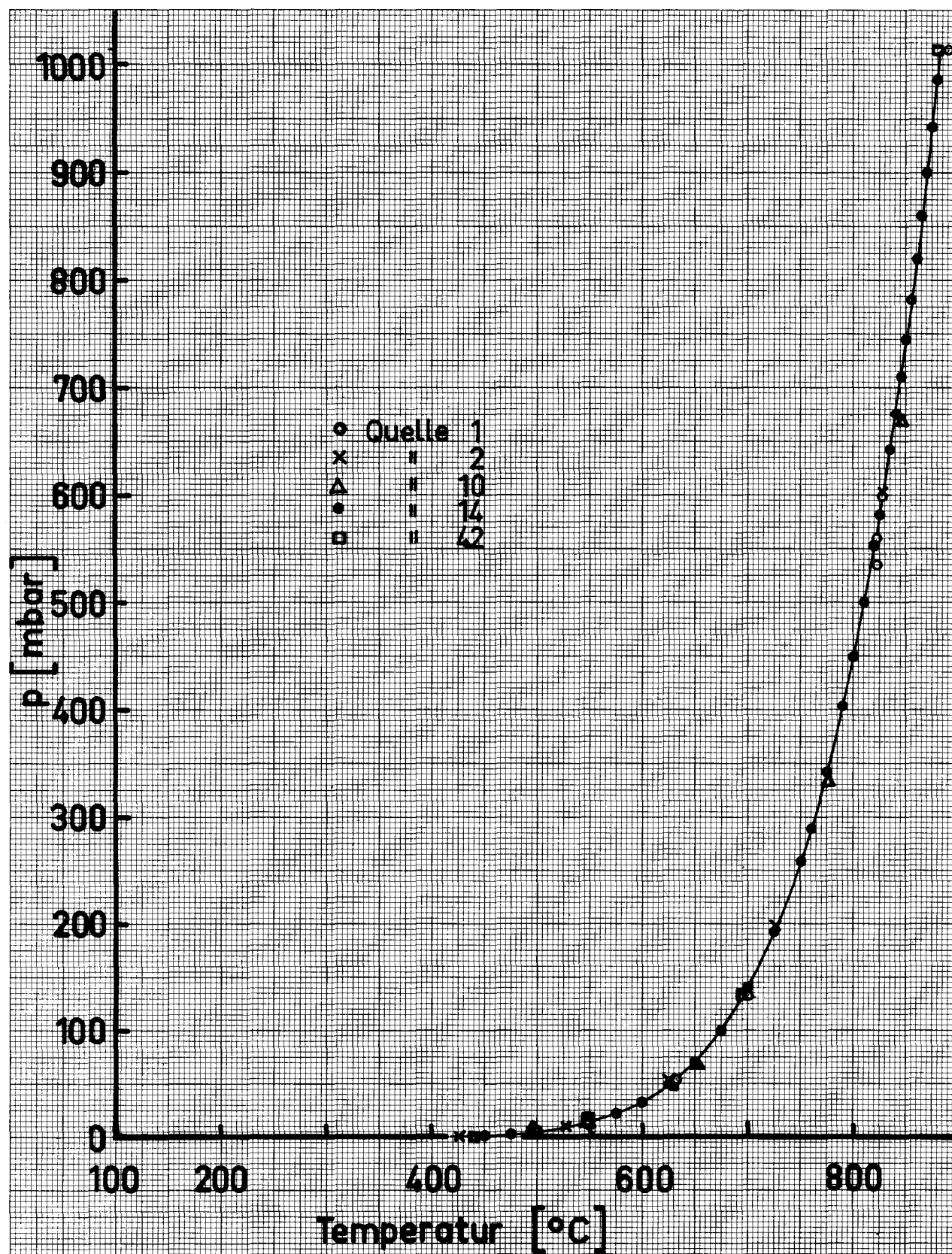




Oberflächenspannung von Na

Fig. 5

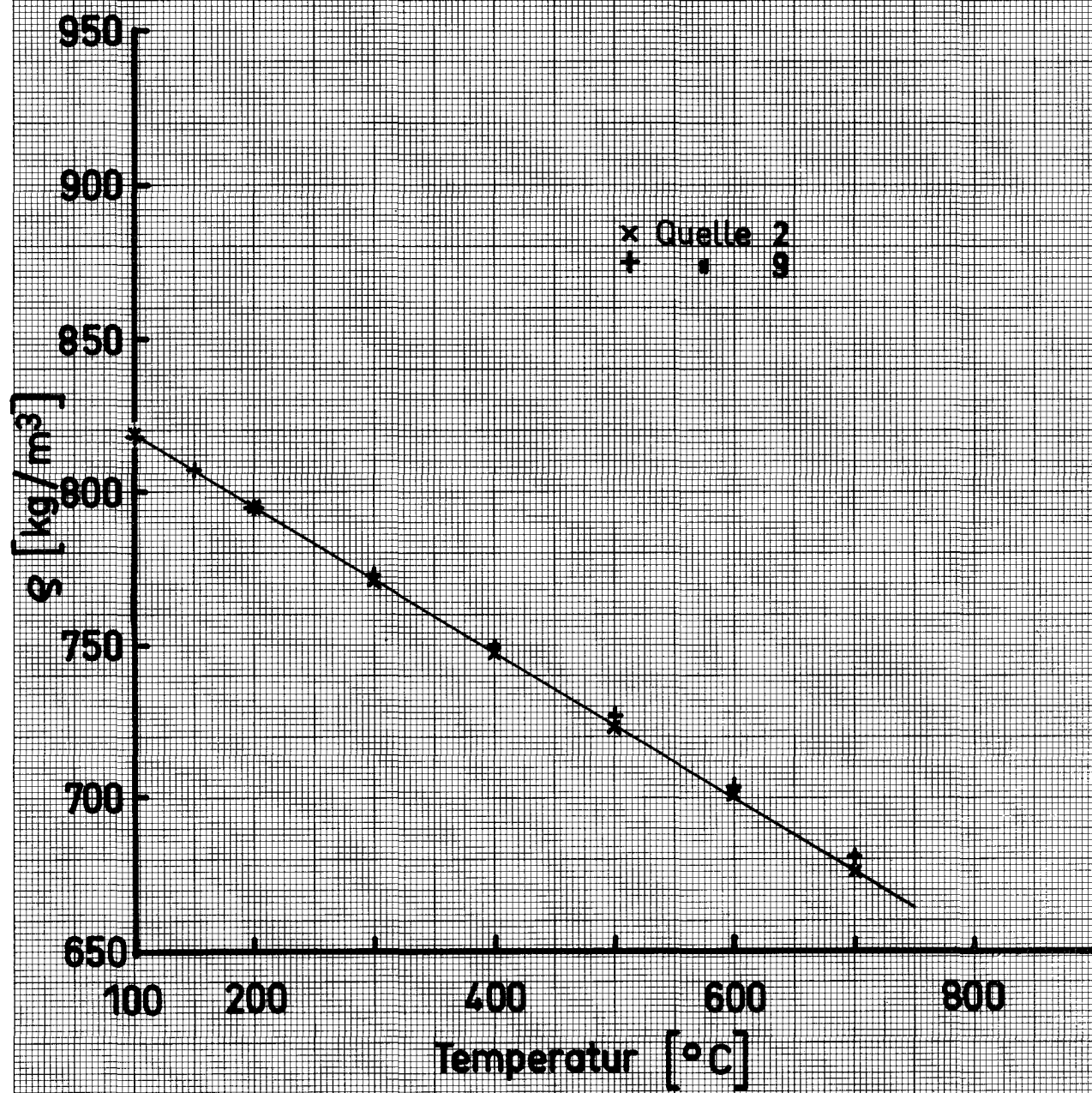
fin:



Dampfdruck von Na

Fig. 6

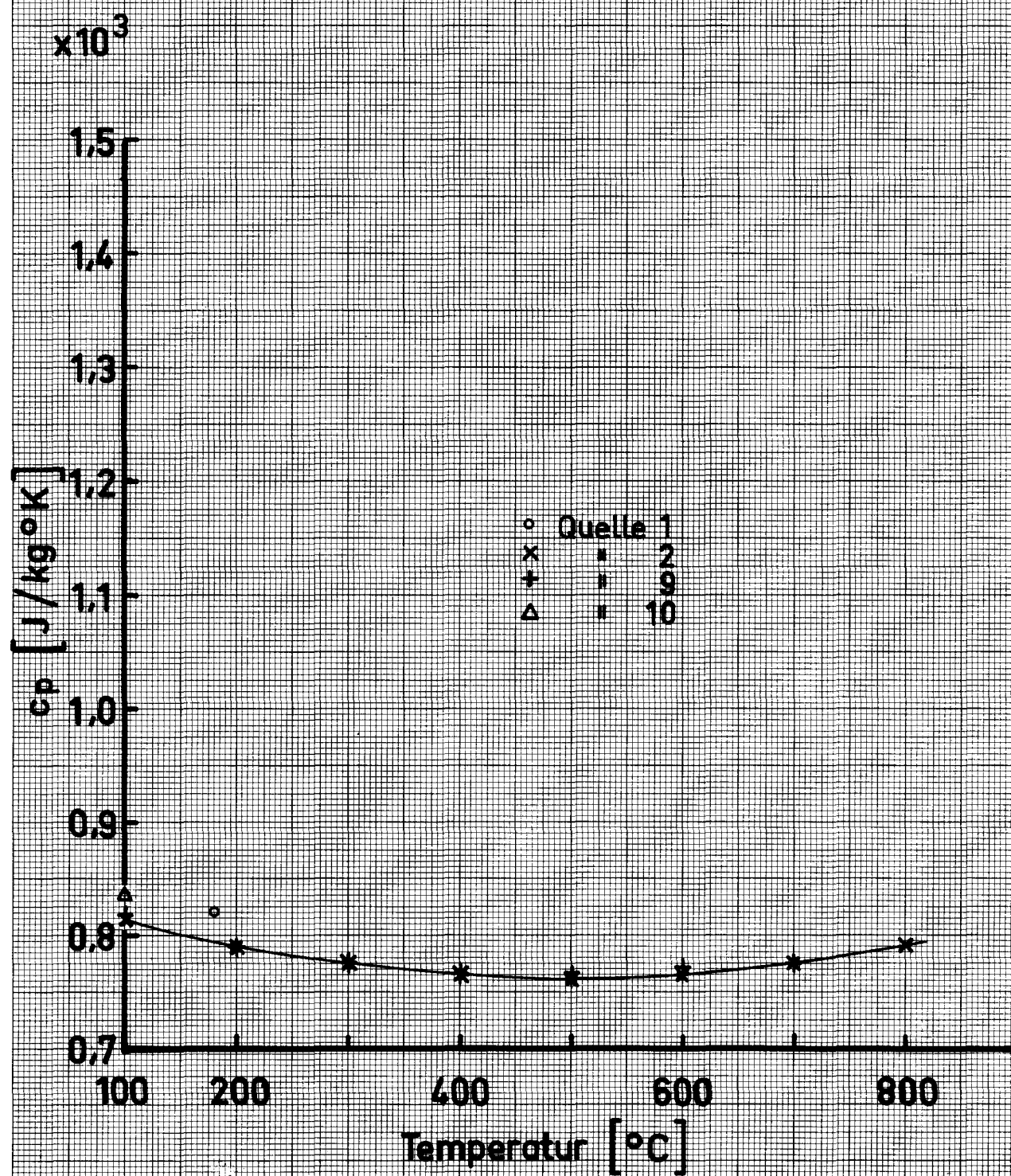
*h.v.*



Dichte von K

Fig. 7

Fig.

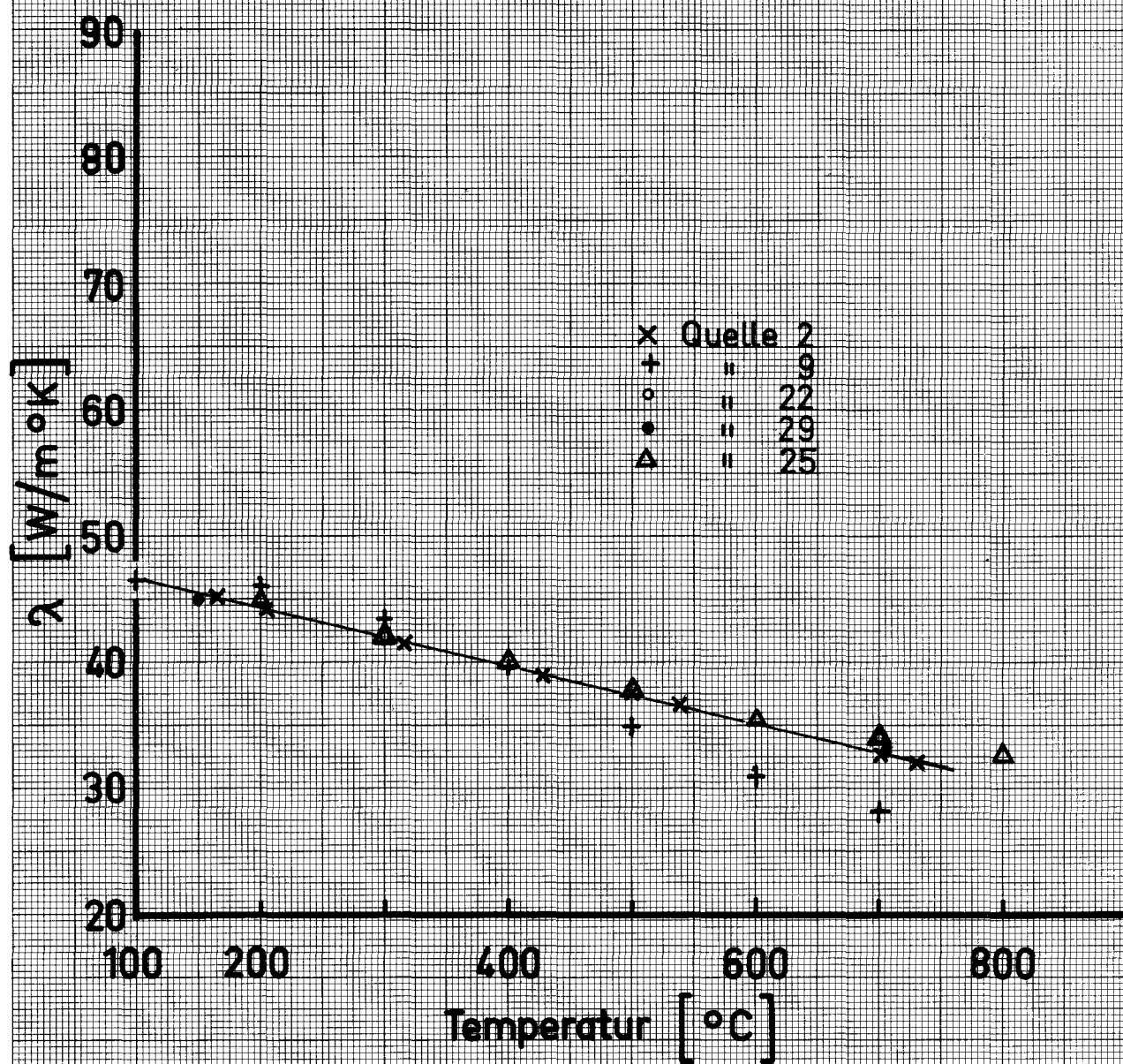


Spezifische Wärme von K

Fig. 8

hvi.

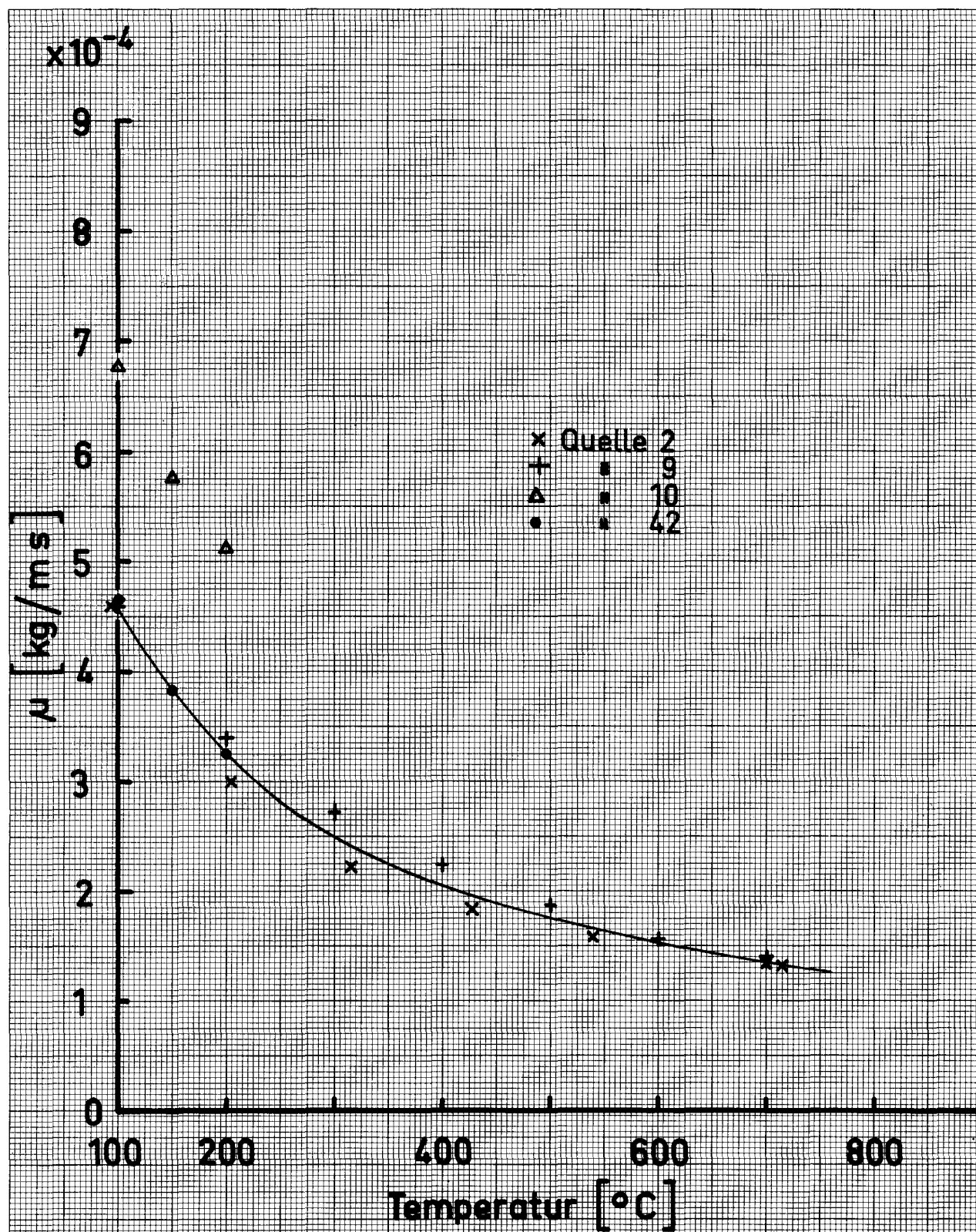




Wärmeleitfähigkeit von K

Fig. 9

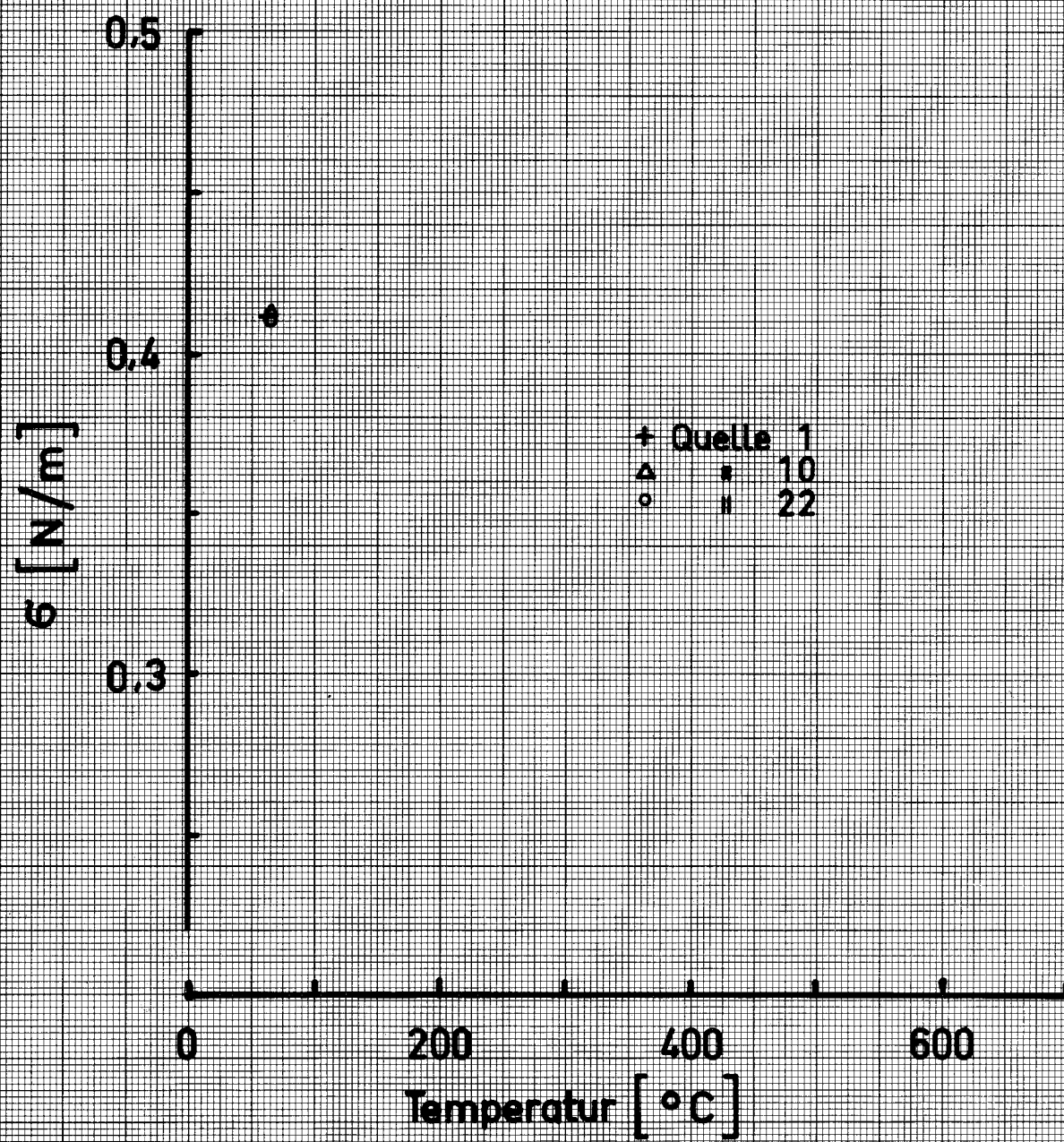
fler.



Viskosität von K

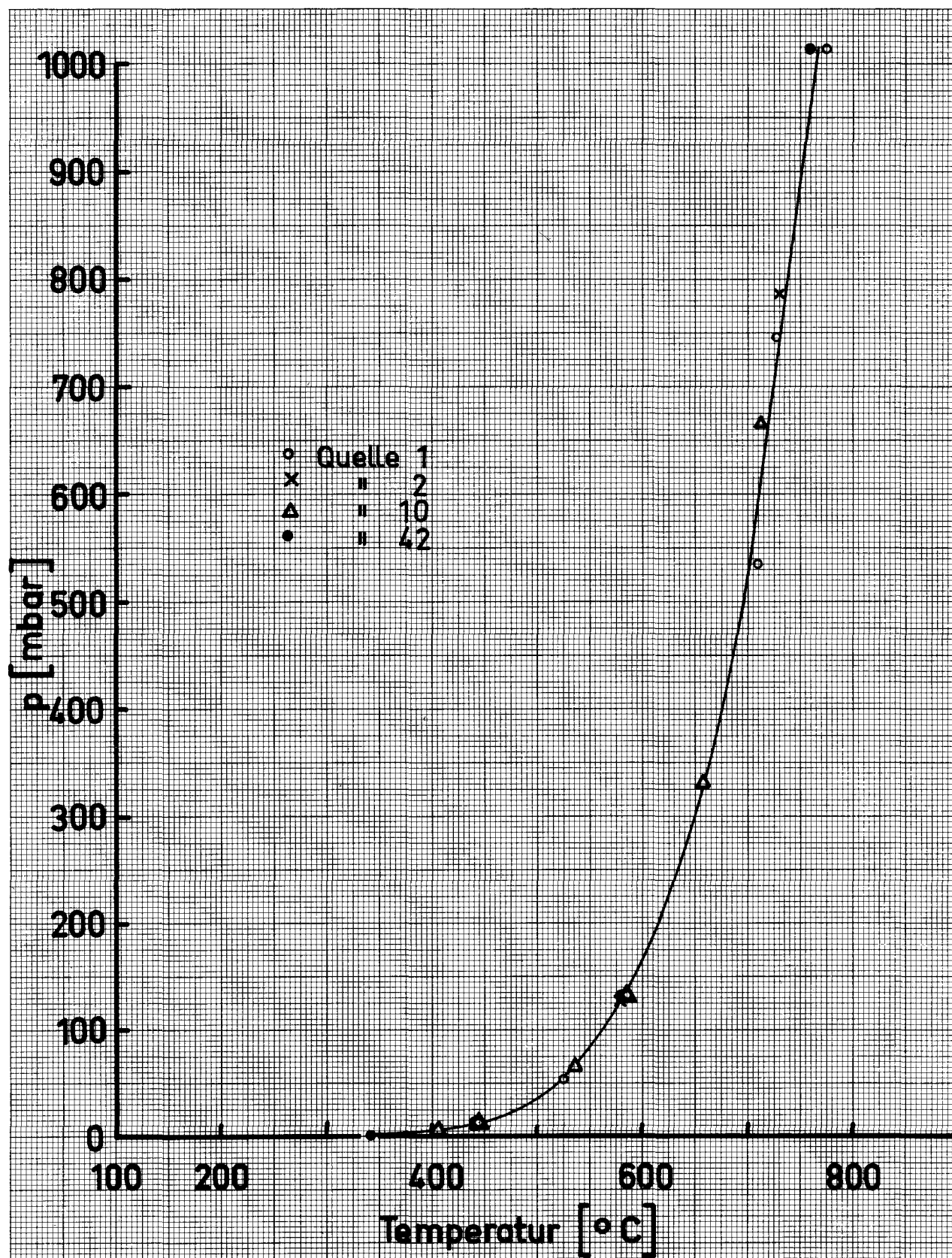
Fig. 10

frei



Oberflächenspannung von K

Fig. 11



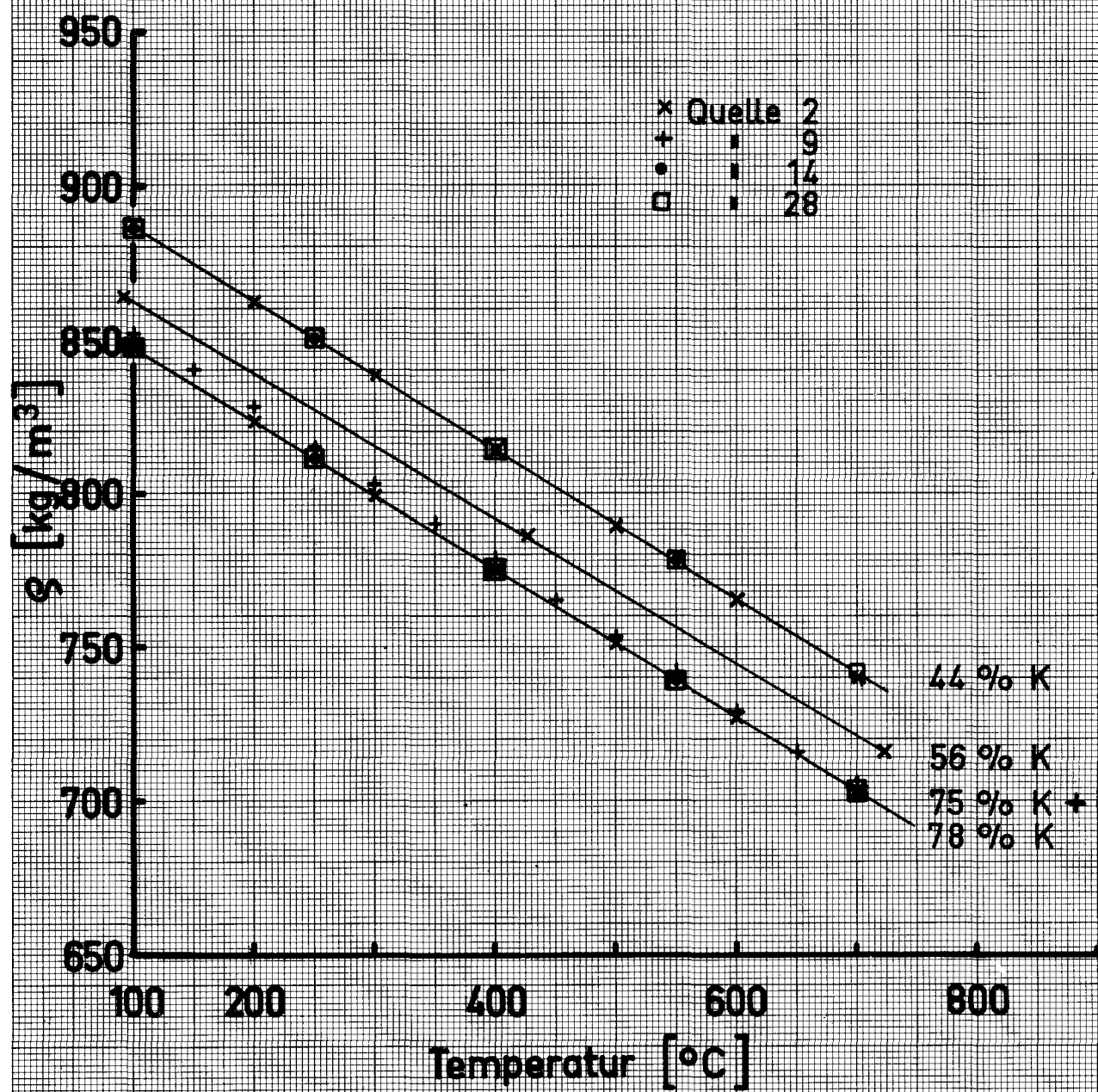
Dampfdruck von K

Fig.12

frei

2

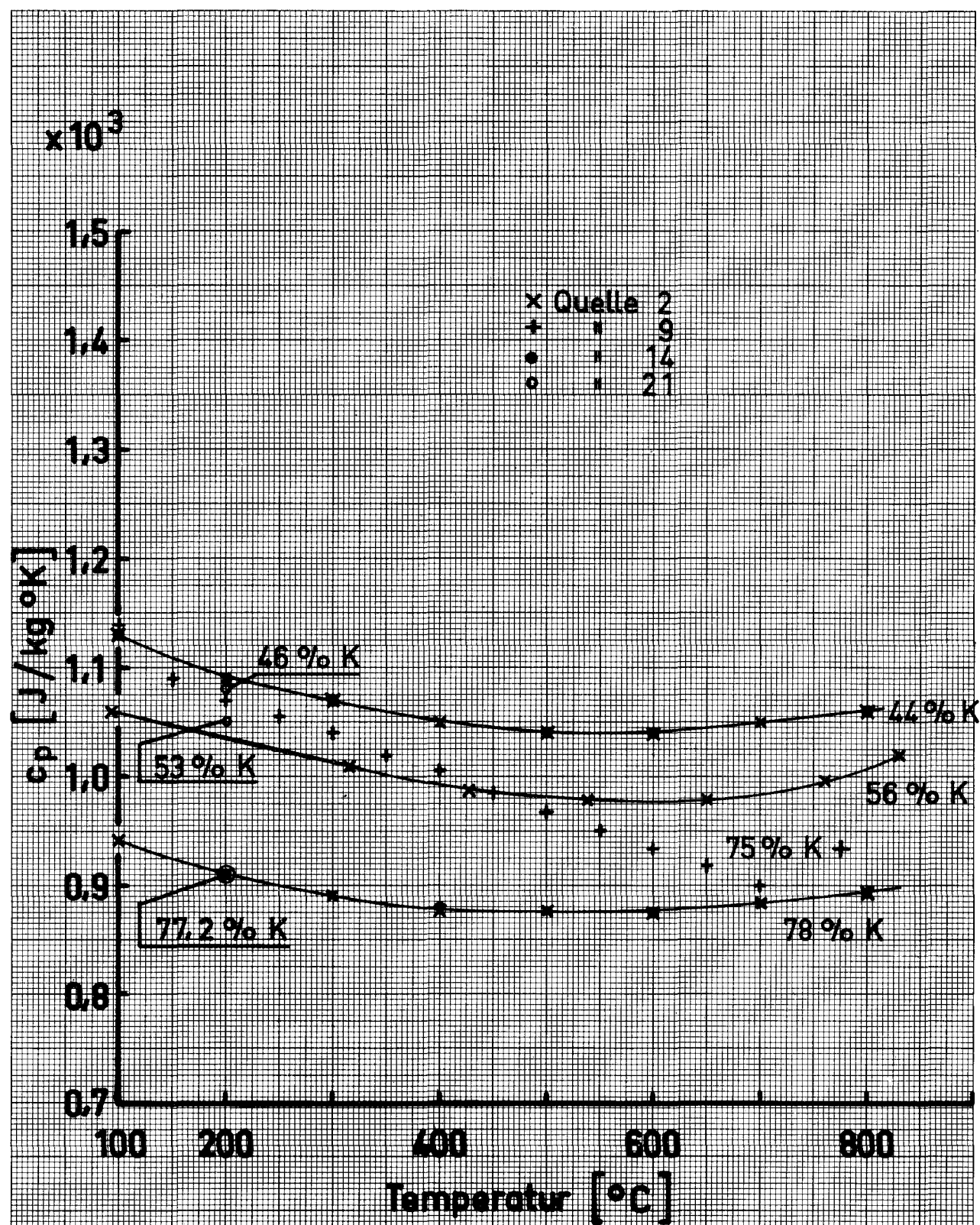




Dichte von NaK

Fig. 13

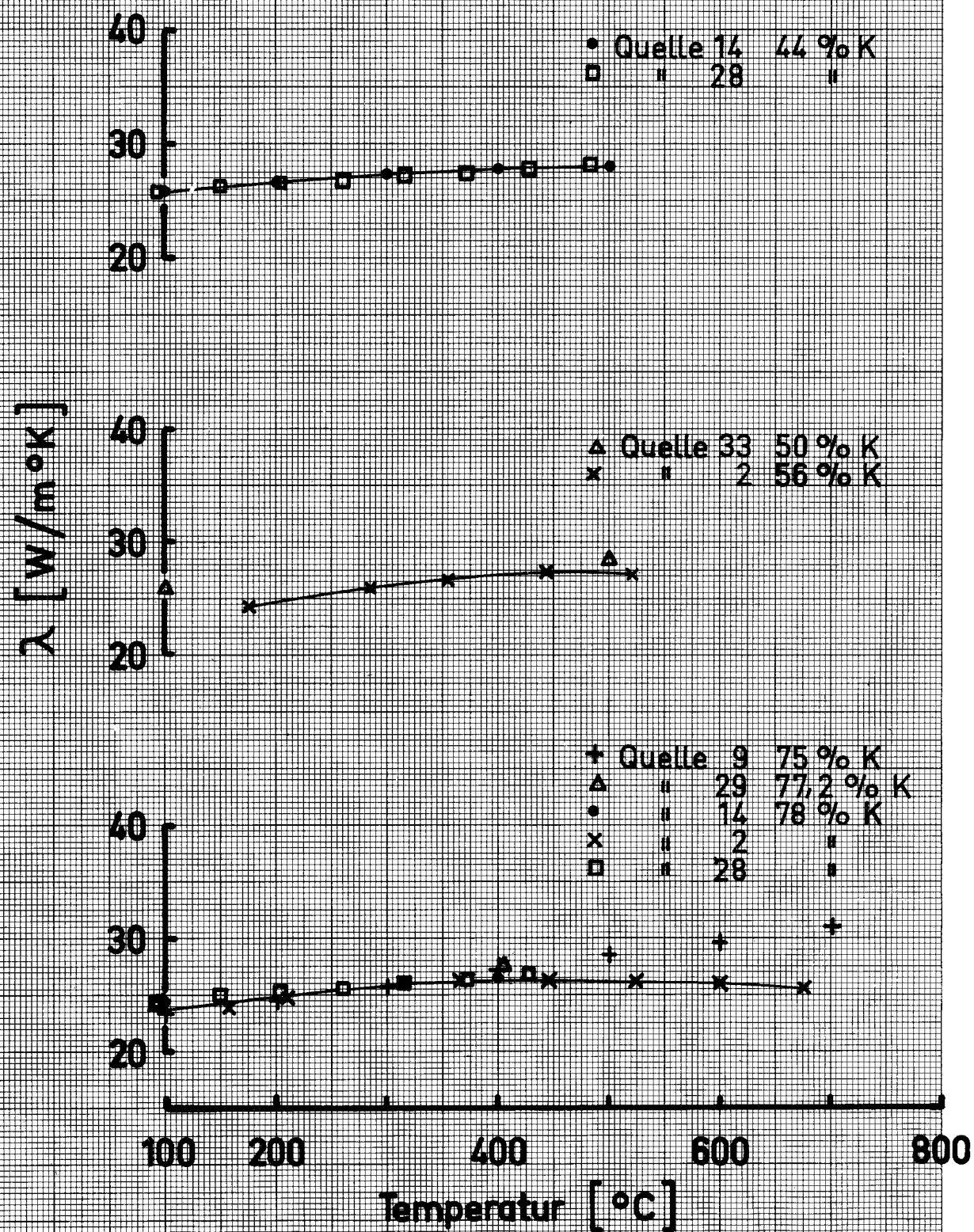
*Handwritten signature*



Spezifische Wärme von Na K

Fig. 14

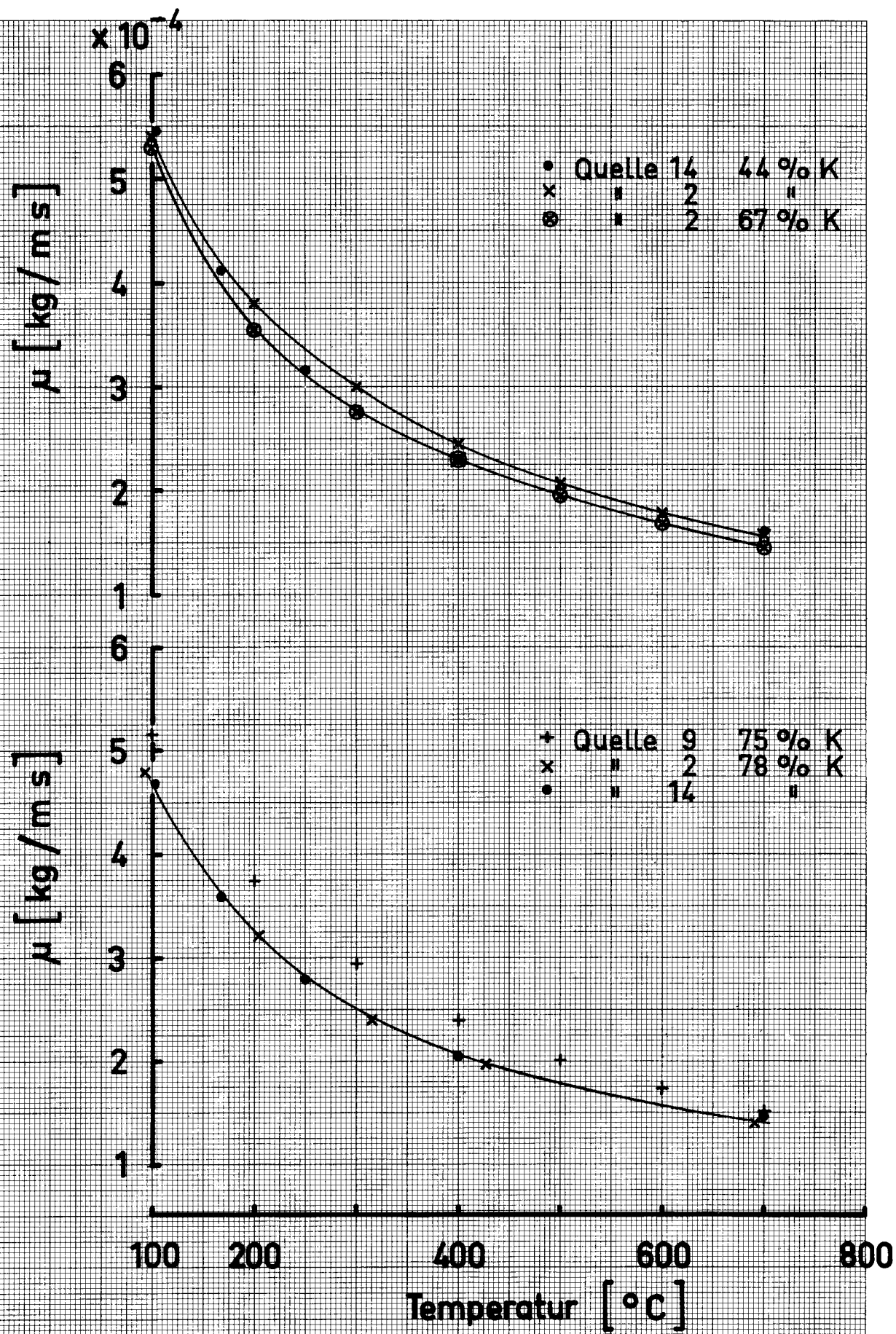
*hpc*



Wärmeleitfähigkeit von NaK

Fig.15

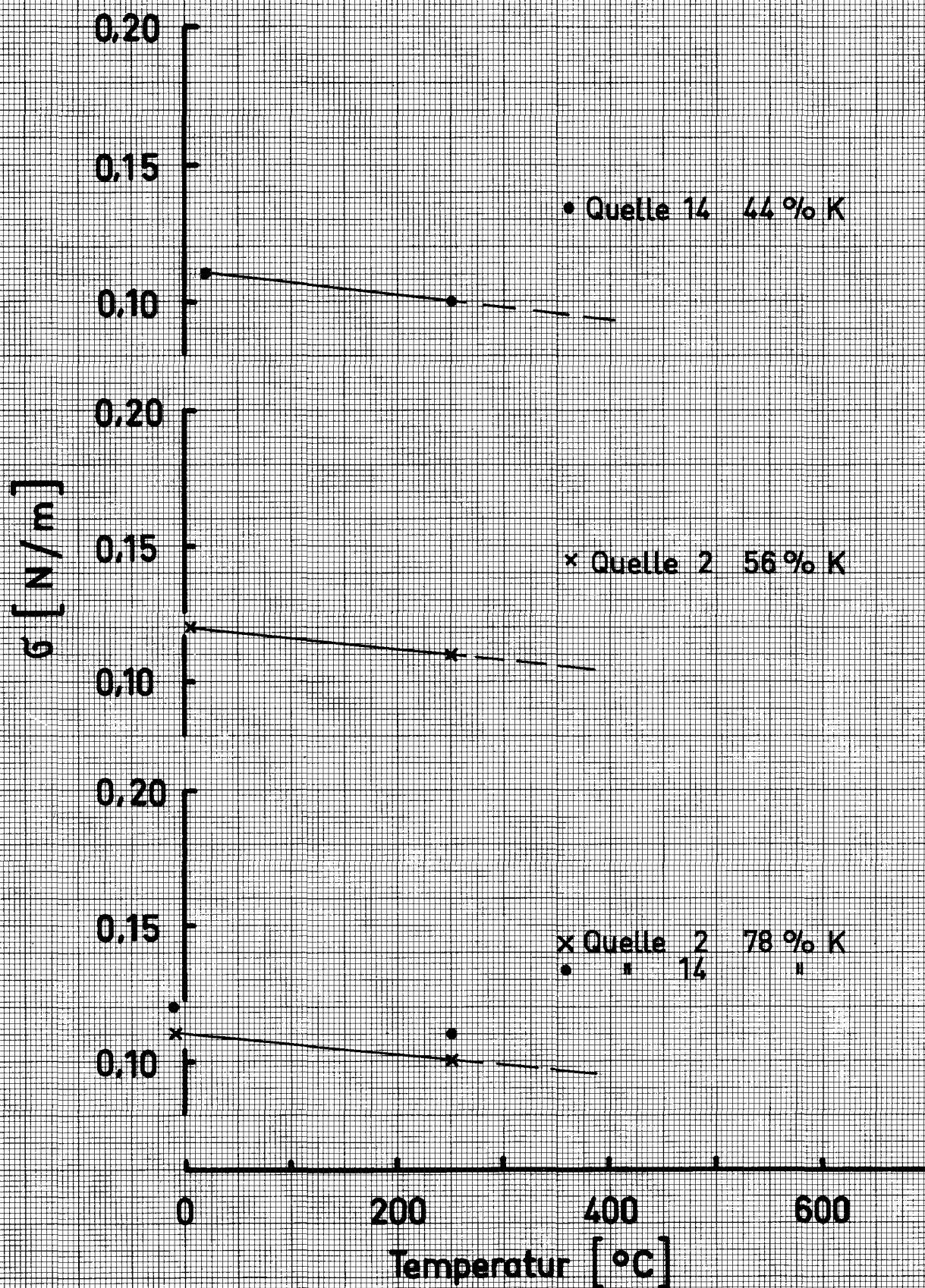
fu



Viskosität von Na K

Fig. 16

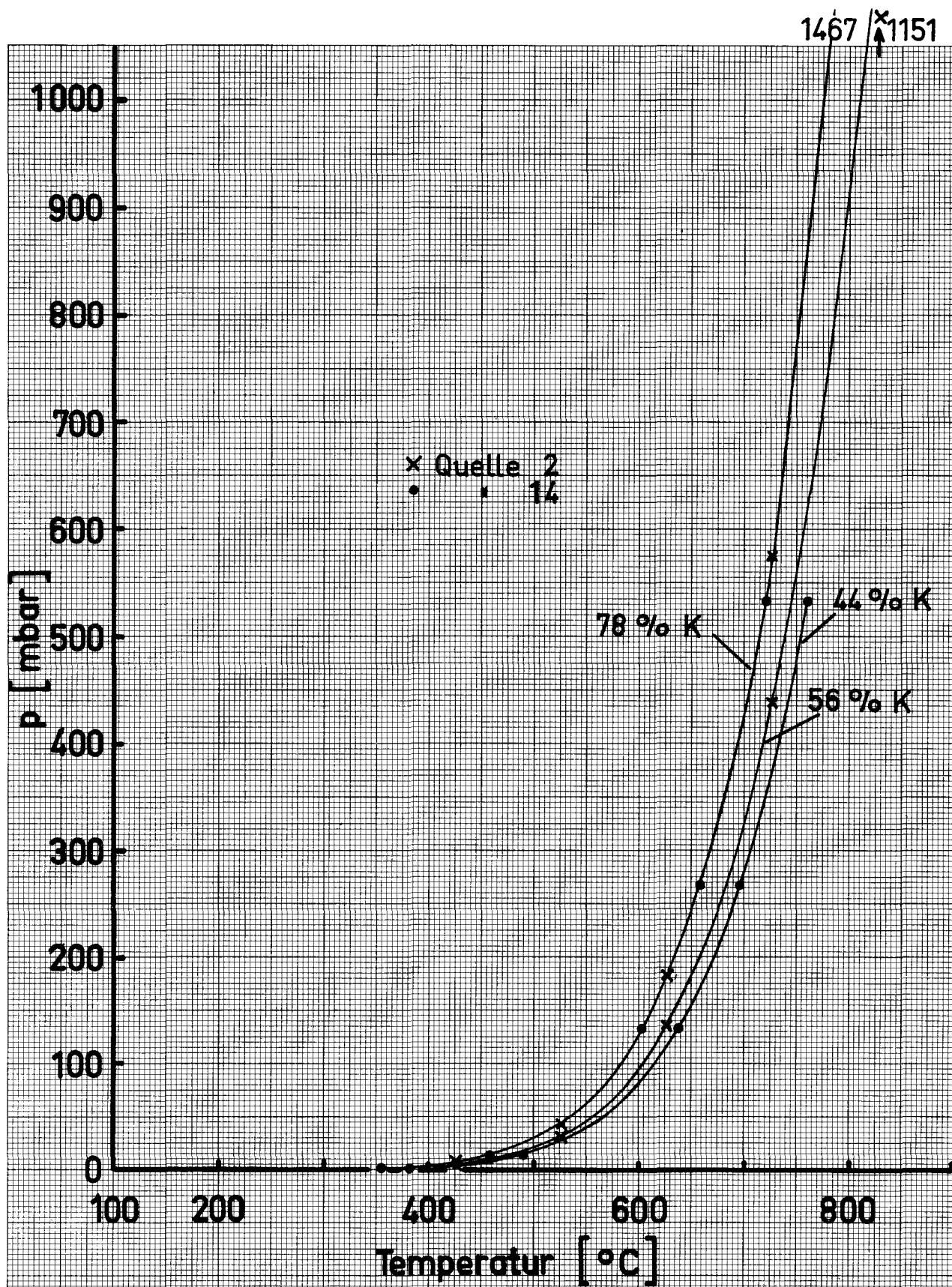




Oberflächenspannung von NaK

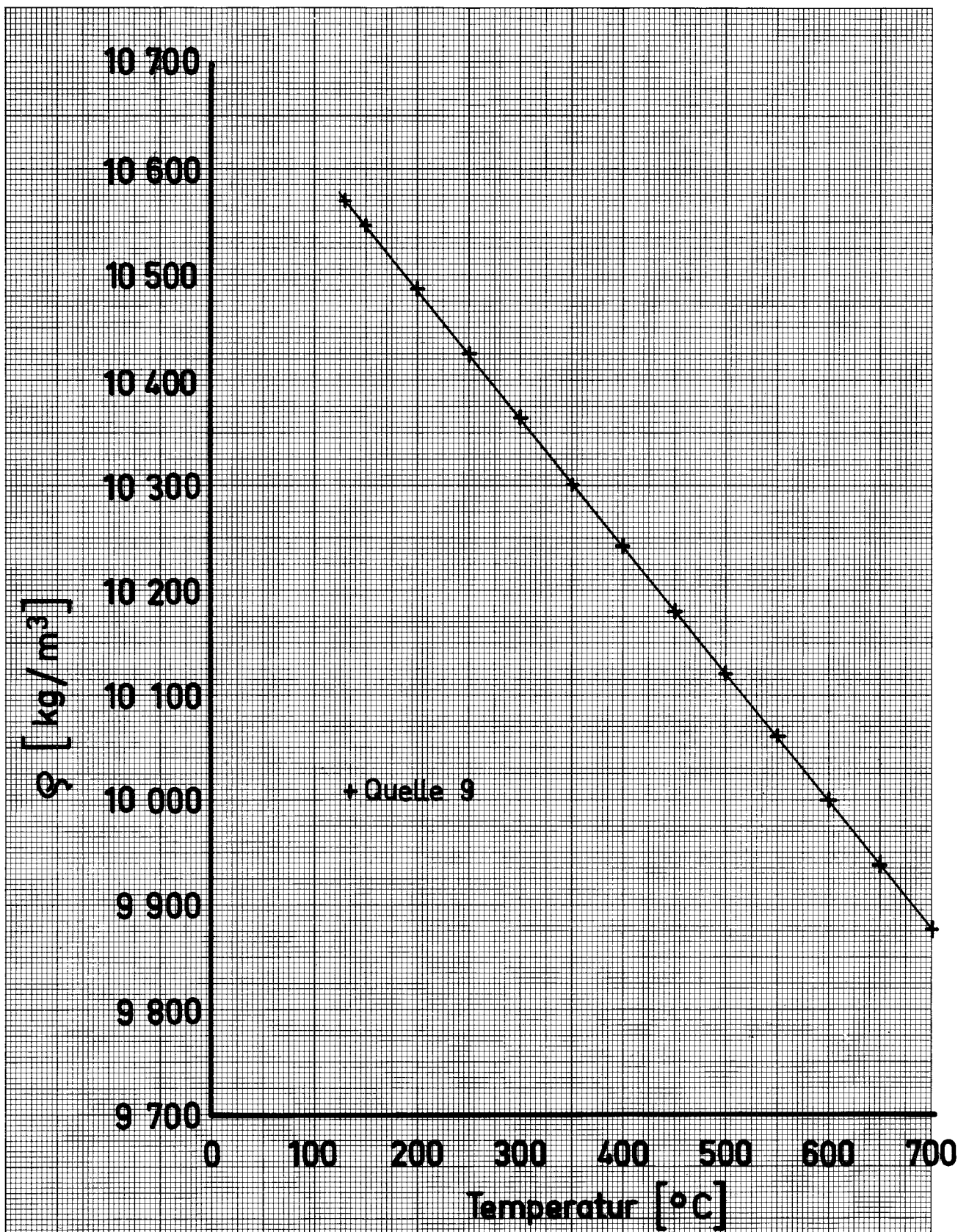
Fig. 17

frei



Dampfdruck von NaK

Fig. 18

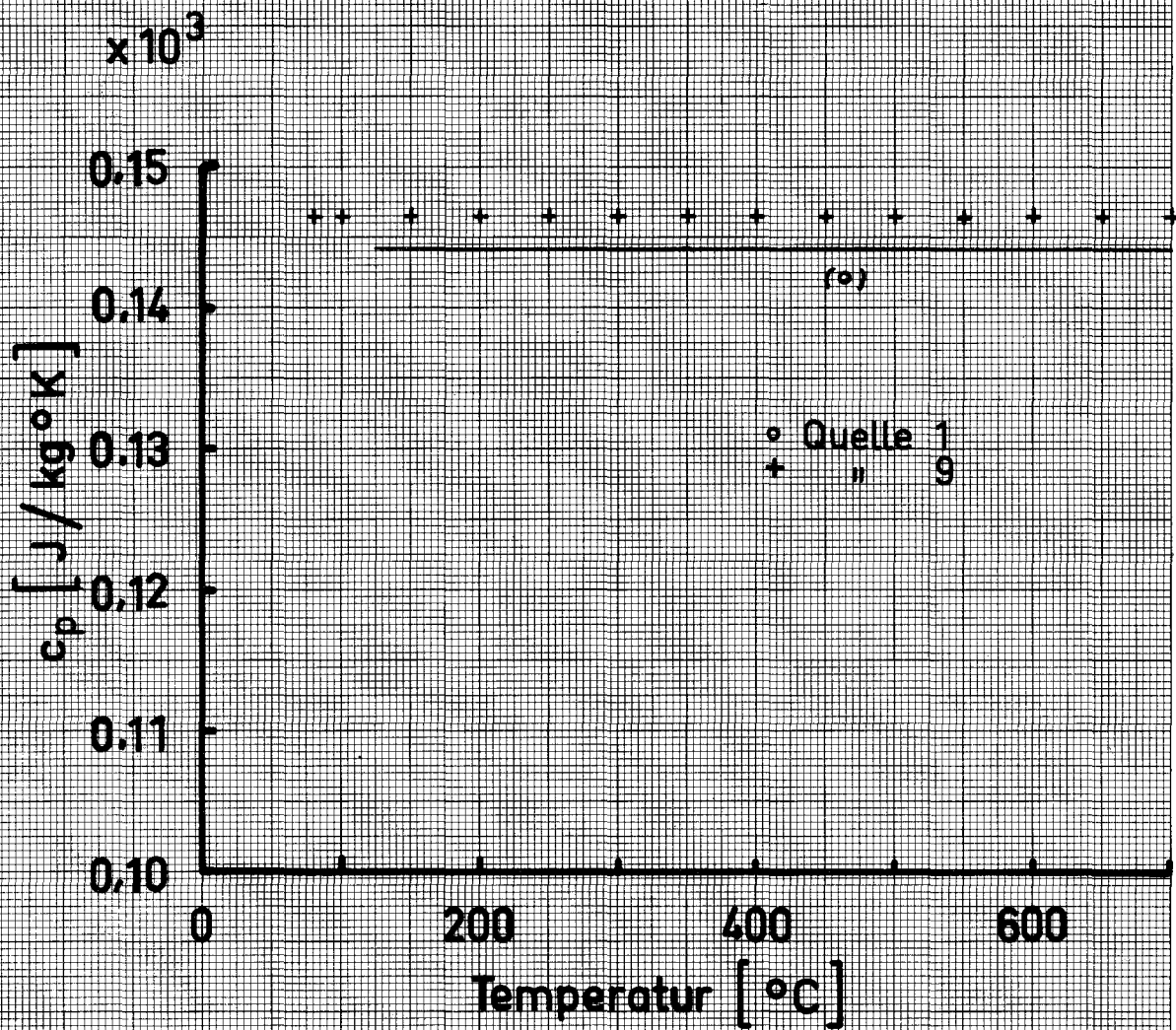


Dichte von Pb-Bi-Eutekt.

Fig.19

hpi.

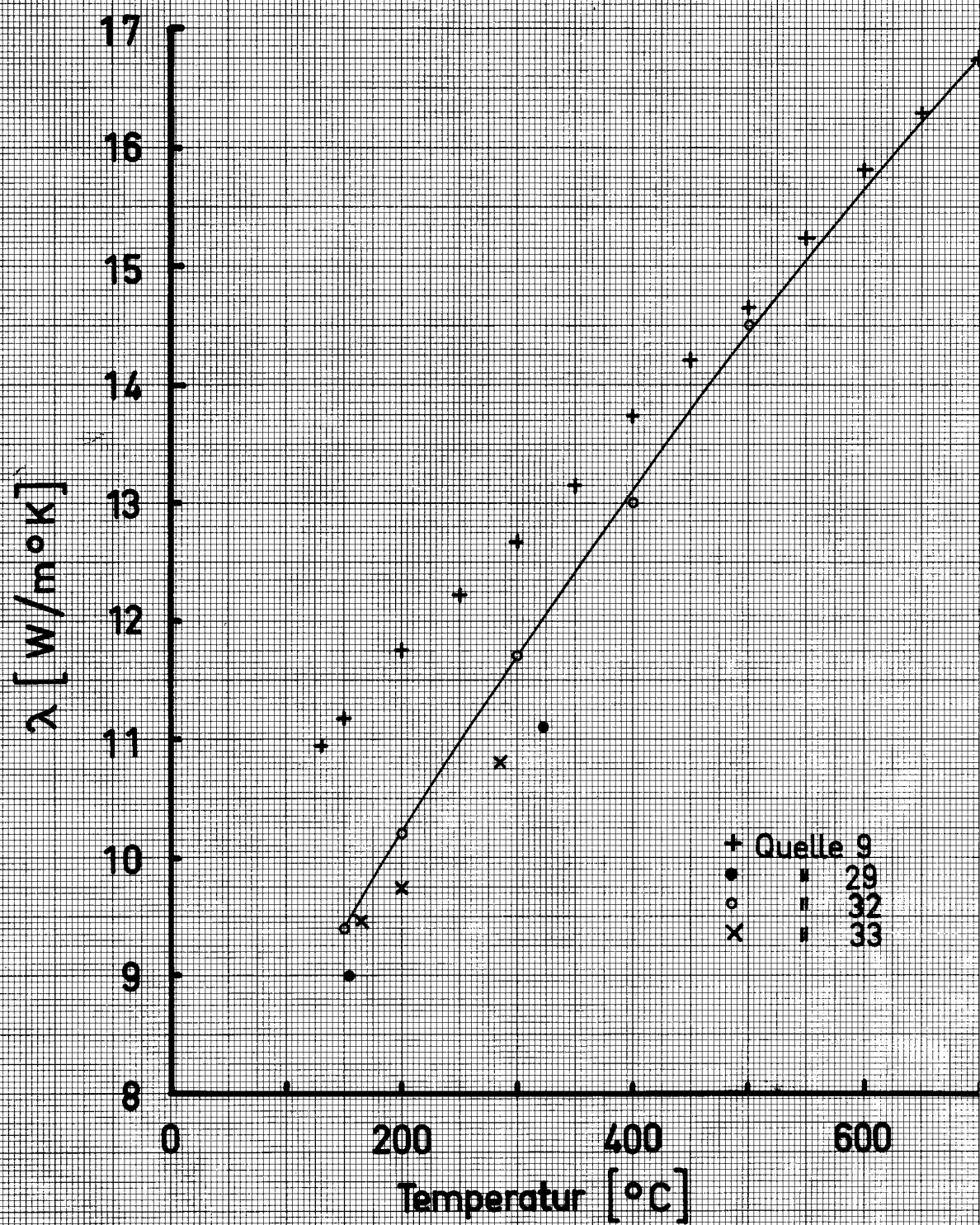
ρ



Spezifische Wärme von Pb-Bi  
(Eutektikum)

Fig. 20



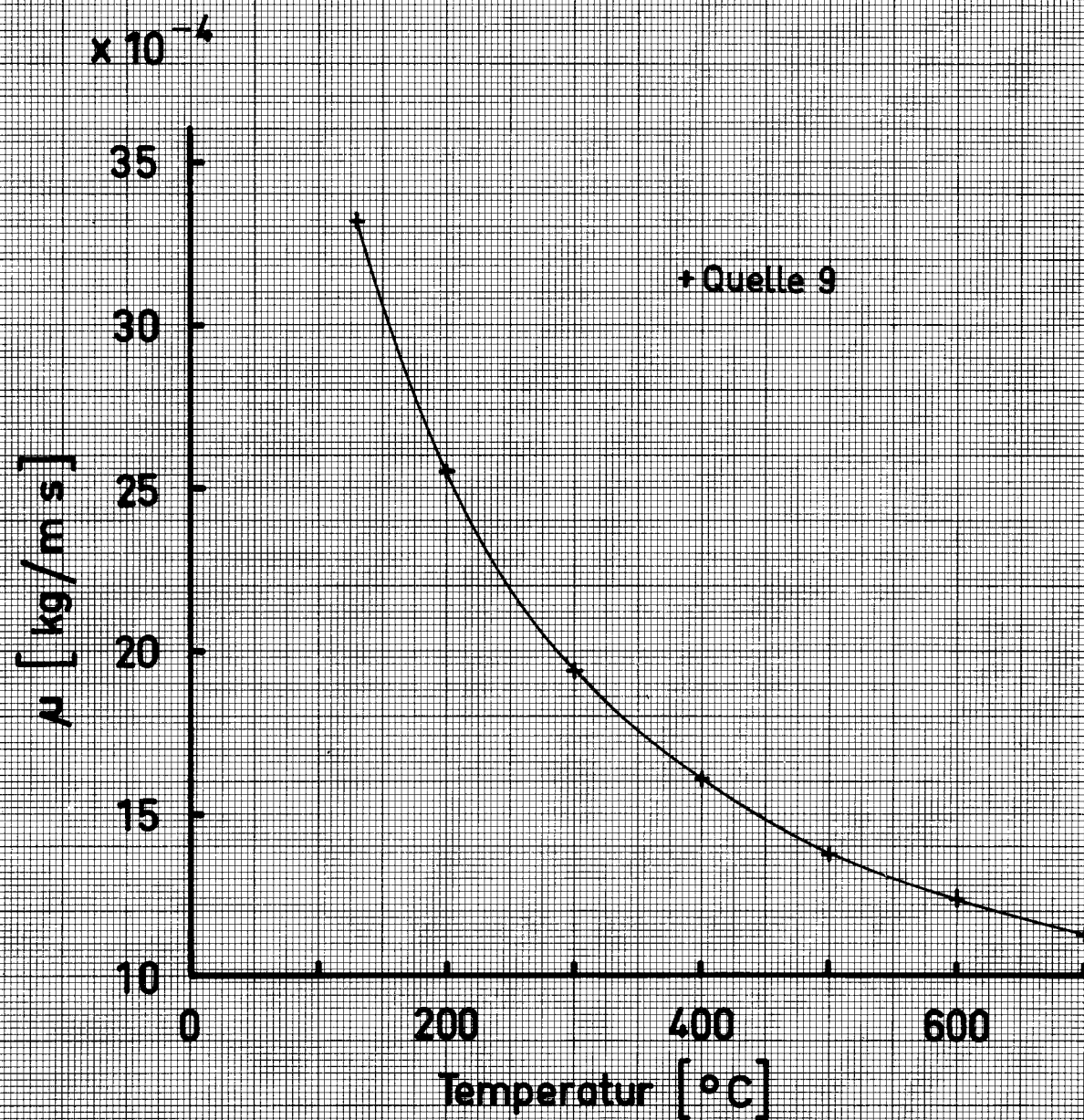


Wärmeleitfähigkeit von Pb-Bi  
(Eutektikum)

Fig. 21

frei

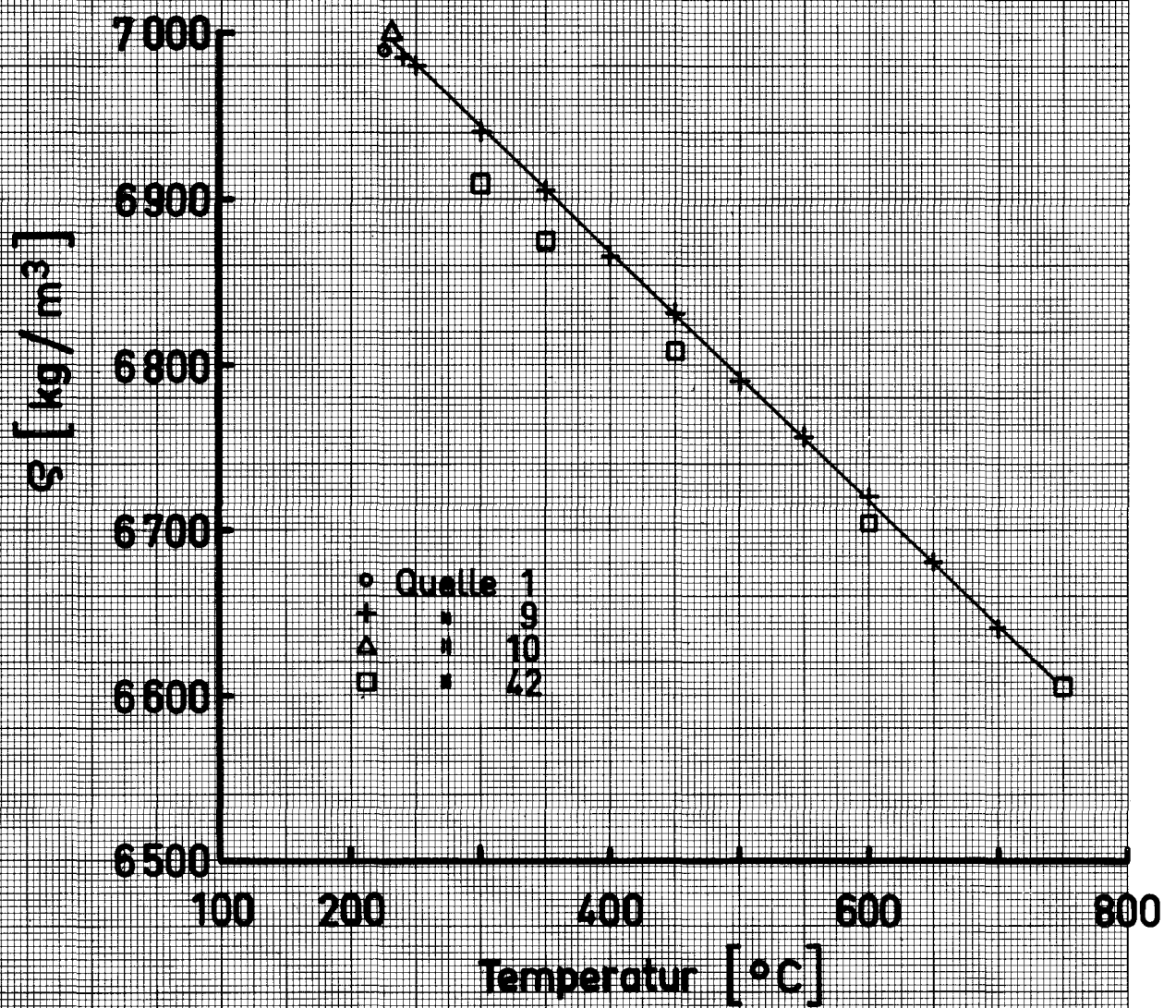
0



Viskosität von Pb-Bi  
(Eutektikum)

Fig. 22

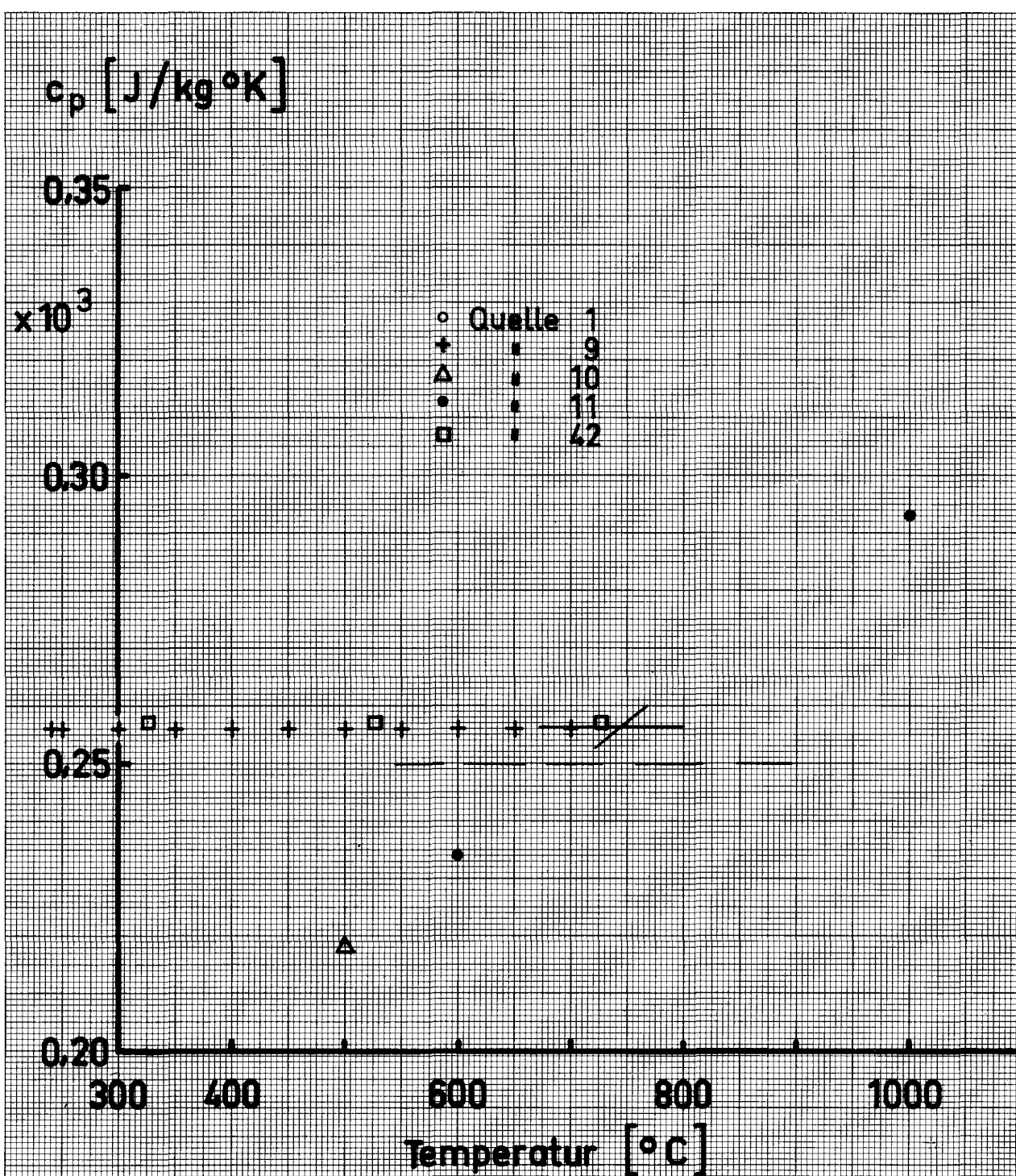
hvi



Dichte von Sn

Fig. 23

fi

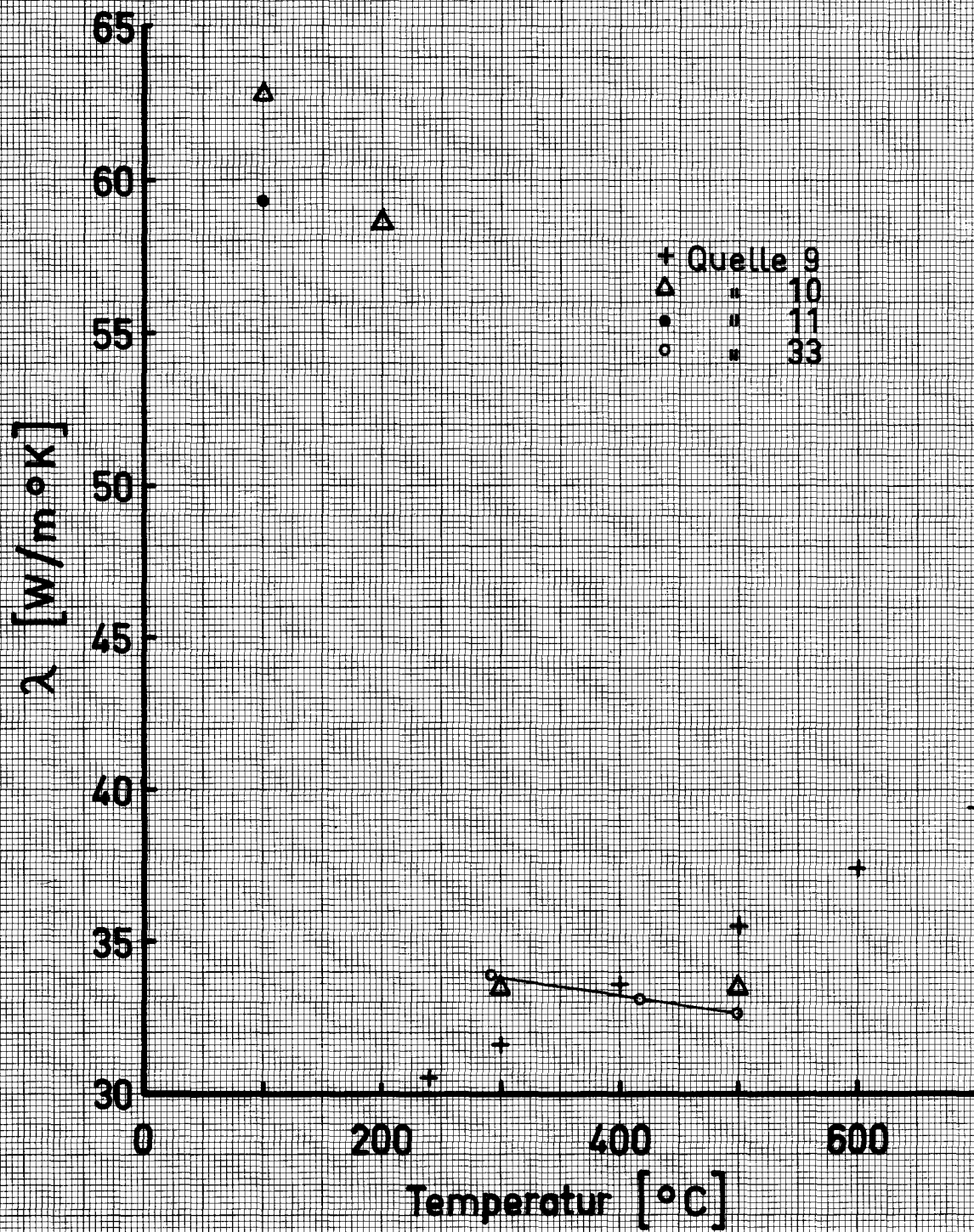


Spezifische Wärme von Sn

Fig.24

*Sp*

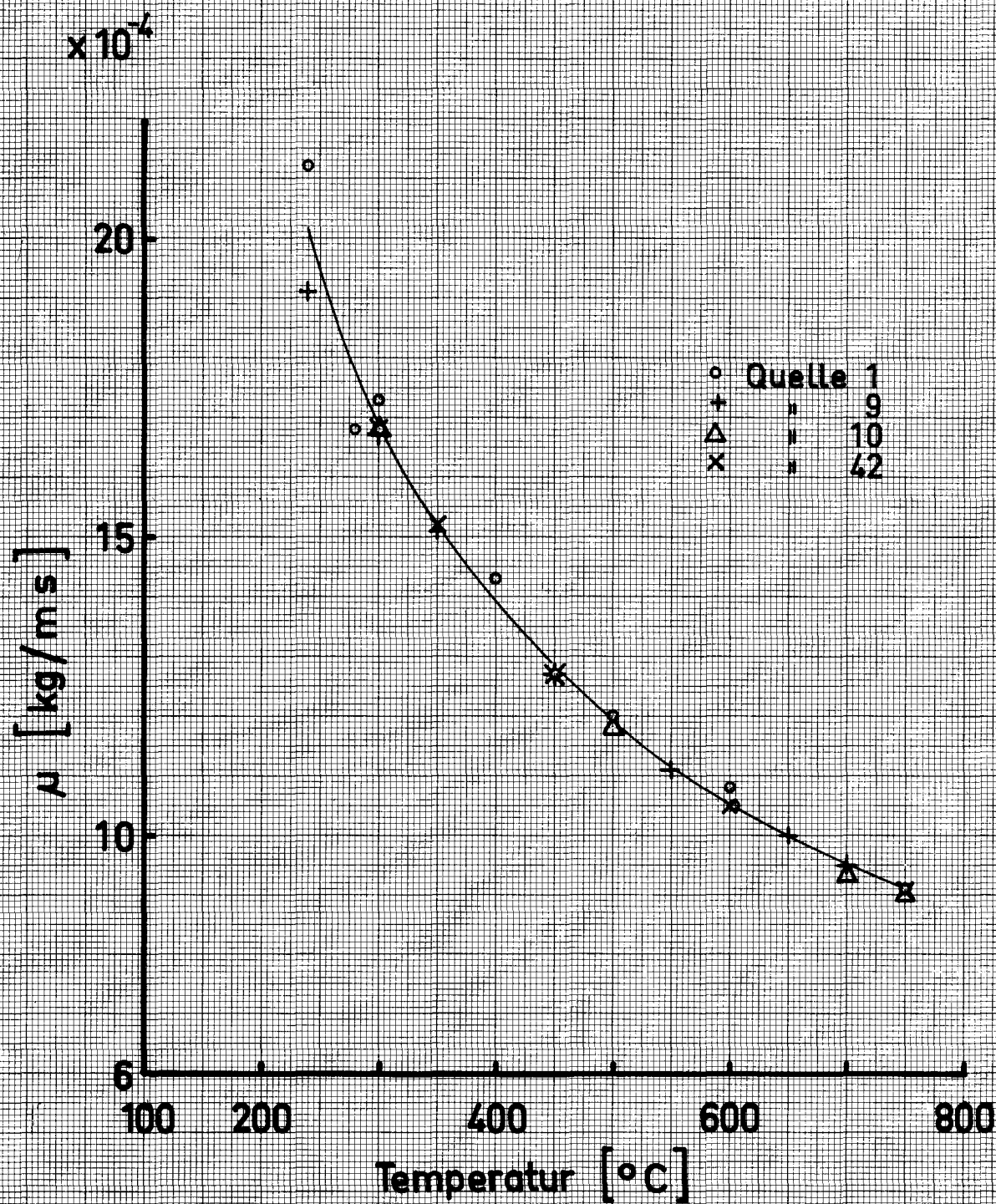




Wärmeleitfähigkeit von Sn

Fig. 25

Handwritten signature



Viskosität von Sn

Fig. 26

*Spei*

$\sigma$  [N/m]

0,55

0,54

0,53

0,52

0,51

0,50

○ Quelle 1  
x " 10  
• " 58

200

400

600

800

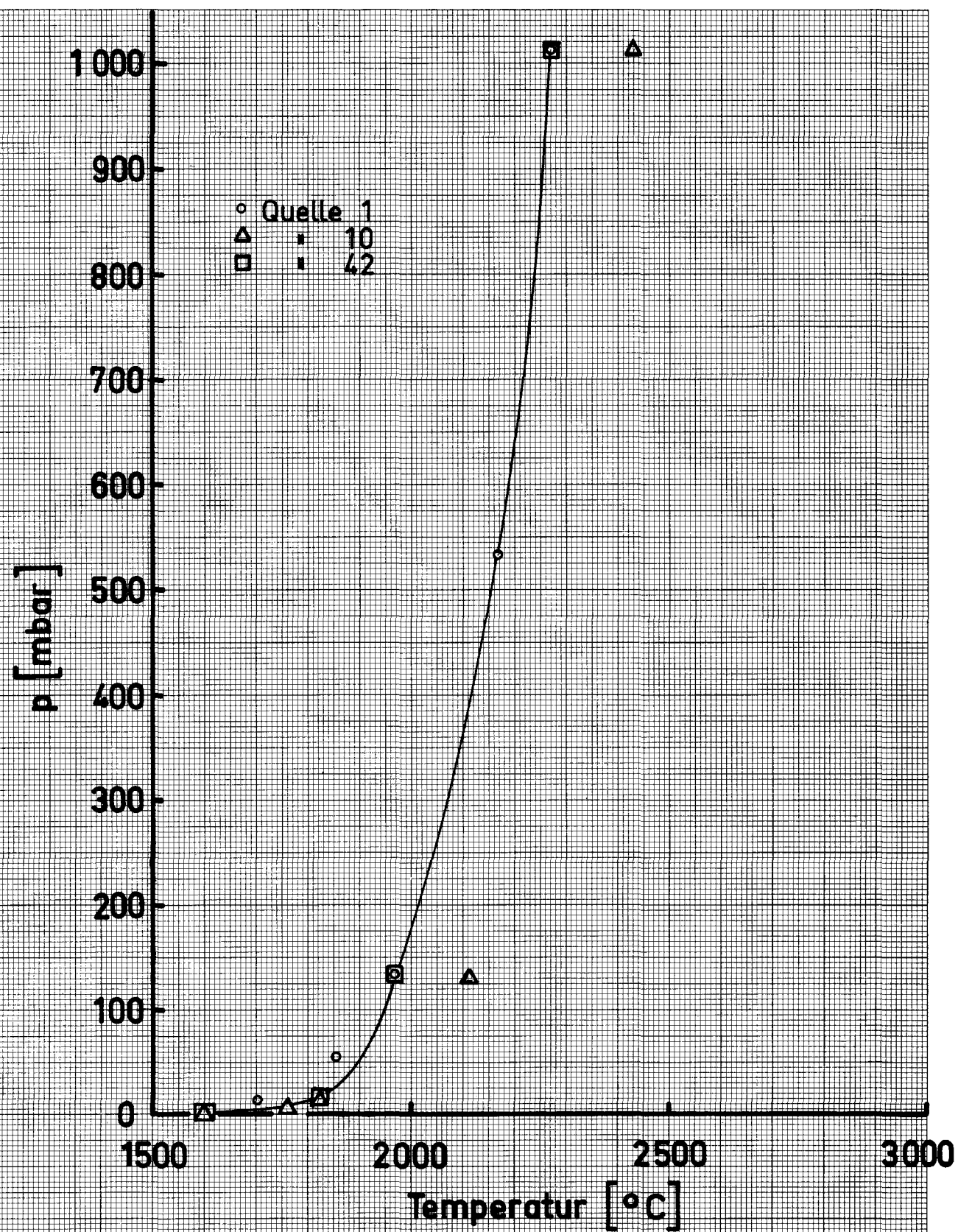
1000

Temperatur [°C]

Oberflächenspannung von Sn

Fig. 27

hfi

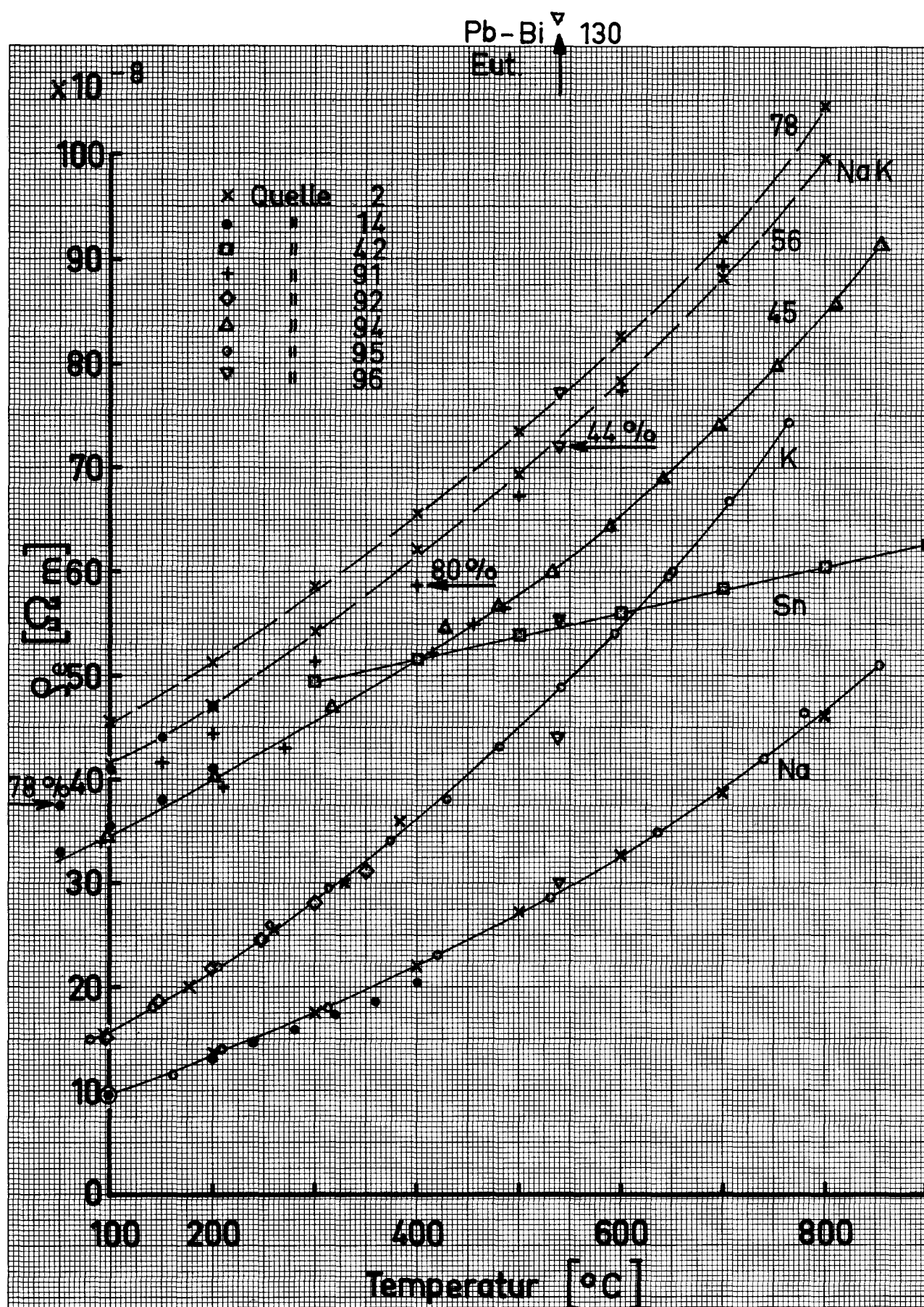


Dampfdruck von Sn

Fig. 28

h.w.





Spezif. elektr. Widerstand  
von Na, K, NaK, Sn

Fig. 29

29.8.63 hui

### 3.3. Zeichenerklärung.

$c_p$	J/kg °K	Spezifische Wärme bei konstantem Druck
$\lambda$	W/m °K	Wärmeleitfähigkeit
$\mu$	kg/ms	Dynamische Viskosität
$p$	mbar	Dampfdruck
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Dichte
$\rho_e$	$\Omega$ m	Spezif. elektrischer Widerstand
$\sigma$	N/m	Oberflächenspannung
$T_f$	°C	Schmelzpunkt
$T_s$	°C	Siedepunkt
Wirk.-Qu.	barn	Wirkungsquerschnitt für Absorption thermischer Neutronen.

---